



DEFORM-3D 型性所识CAE咖啡药提

主 编 胡建军 李小平







21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

DEFORM - 3D 塑性成形 CAE 应用教程

主编 胡建军 李小平副主编 周 涛 陈元芳



内容简介

本书内容共分为3篇;第一篇为理论基础,介绍DEFORM-3D分析的基本流程、DEFORM-3D软件 分析中缺陷的判断以及如何提高模拟的精度等内容。第二篇为基本成形,介绍基本的塑件讨程分析技巧。 包括基本成形的步骤、对称模拟的设置、热传导的分析、成形和热传导的耦合、多工序模拟的设置、设 各库的应用意义。停止条件的设置、模具应力分析等内容:第二篇为成形下艺分析实例,企组各种特殊 塑性成形工艺的分析实例,包括轧制分析、辊锻成形分析、楔横轧分析、摆辗成形分析、旋压成形分析、 断裂分析、模具磨损分析、热处理及品粒度分析。

本书可以作为高等院校材料相关专业的本专科生教材、也可以作为材料工程技术人员和模具设计、 结构分析以及成形加工相关专业的工程技术人员的指导手册。

图书在版编目(CIP)数据

DEFORM - 3D 划性成形 CAE 应用教程/胡建军,李小平主编。 (21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材) ISBN 978 - 7 - 301 - 18392 - 2

I. ①D··· II. ①胡···②李·· III. ①金属压力加工一塑性变形一计算机辅助分析一高等学校一教 林 N. ①TG301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 001819 号

名: DEFORM - 3D 塑性成形 CAE 应用教利

著作责任者: 胡建军 李小平

策划编辑: 童君鑫

责任编辑:宋亚珍

标准书号·ISBN 978-7-301-18392-2/TG:0015

出 版 者:北京大学出版社

址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

址; http://www.pup.cn http://www.pup6.com

话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者:

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787mm×1092mm 16 开本 19 印张 440 千字 2011年1月第1版 2020年1月第4次印刷

定 价: 48.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究 举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup. pku. edu. cn

前 言

DEFORM-3D是一个基于工艺模拟系统的有限元系统(FEM),专门用于分析各种金属成形过程中的三维(3D)流动。提供极有价值的工艺分析数据及有关成形过程中的材料流动和温度流动。典型的 DEFORM-3D 应用包括锻造、挤压、轧制、自由锻、弯曲和其他成形加工手段。

DEFORM-3D是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅鲁棒性好,而且易于使用。 DEFORM-3D强大的模拟引擎,能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变 形和热特性。此系统集成了在必要时能够自行触发自动网格重新划分的生成器,可以生成 优化的网格系统。在精度要求较高的区域,可以划分细密的网格,从而降低题目的运算 量,并显著提高计算效率。DEFORM-3D图形界面、既强大又灵活,为用户准备输入数 据和观察结果数据提供了有效工具。

本书内容共分为 3 篇,第一篇为理论基础、编者用语浅显易懂,含去晦涩难懂的理论公式推导,提取和塑性成形仿真最紧密结合的部分、介绍 DEFORM—3D 分析的基本流程、DEFORM—3D 软件分析中缺陷的判断及如何提高模拟的精度等内容,第二篇为基本成形,通过本篇的学习,读者可以掌握基本的塑性过程分析技巧,包括基本成形的步骤、对称模拟的设置、独身导的分析、成形和热传导的概合、多工序模拟的设置、设备库的应用意义、停止条件的设置、模具受力的分析等。编者对这些实例结合自己的应用经验进行点评,使读者在掌握这些案例的同时,理解 DEFORM—3D 塑性成形分析基本过程和关键技术,第三篇为成形工艺分析实例,主要介绍各种特殊塑性成形工艺的分析实例,包括轧制分析、辊镀成形分析、模概轧分析、摆辗成形分析、旋压成形分析、断裂分析、模具磨损分析、棍粒度分析。编者在附录部分为读者整理了常见牌号材料的中英文对照表,方便读者在模拟时从中寻找自己应用的材料。本书内容由浅至深、循序渐进,能使读者从本书中有所收获。

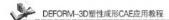
本书由重庆理工大学胡建军和李小平主编,重庆理工大学周涛和陈元芳为副主编,参加编写的还包括重庆理工大学陈康、夏华和周志明,四川大学曹建国,重庆交通大学张渝,重庆大学王梦寒,重庆科技学院杨成林。其中胡建军编写第 3~8 章和第 10 章,李小平编写 1~2 章,周涛编写第 17 章,陈元芳编写第 9章,陈康编写第 15 章,夏华编写第 11 章,周志明编写第 18 章,曹建国编写第 13 章,张谕编写第 12 章,王梦寒编写第 16 章,杨成林编写第 14 章。胡建军对本书进行了统稿,并对所有应用案例进行了验证。

由于编者水平有限, 书中难免有疏漏之处, 欢迎广大读者、同行批评斧正。

从海大洲株批散

目 录

| 第一篇 | . 66 | 理论基础 | 4.2 | | 建立模型基本步骤 | . 35 |
|--------|---------|-----------------------------------|------|------|--------------------------------|------|
| 邪 | 一冊 | 建化基胍 | . 1 | | 4.2.1 物体的设置 | . 35 |
| 第 1 | 舎 | 塑性成形 CAE 技术 | | | 4.2.2 模拟设置 | . 36 |
| ו פאל | .aqu. | 並任成形 CAC 技术 | 3 | 4.3 | 建立模型 | 38 |
| | 1.1 | 塑性成形 CAE 技术概述 | 4 | | 4.3.1 创建一个新的问题 · · · · · · | . 38 |
| | | 1.1.1 国外 CAE 技术现状 | 4 | | 4.3.2 设置模拟控制 | . 41 |
| | | 1.1.2 我国 CAE 技术现状 | 5 | | 4:3.3 设置坯料基本属性 | . 41 |
| | 1.2 | 金属塑性成形技术 | 5 | X | 4.3.4 导人毛坯几何文件 | . 41 |
| | 1.3 | DEFORM - 3D 软件 ······ | 6 | TI | 4.3.5 划分网格 | . 43 |
| | | 1. 3. 1 DEFORM 的发展 | 6 | 1 | 4.3.6 导人上模文件 | . 44 |
| | | 1.3.2 DEFORM 的特点 ········ | 7 | | 4.3.7 设置上模运动参数 | . 45 |
| | | 1.3.3 DEFORM 的功能 ············ | 18 | | 4.3.8 导入下模文件 | . 45 |
| | 综合 | 习题 | 8 | | 4.3.9 设置模拟参数 | . 47 |
| 第 2 | 音 | 塑性成形过程数值模拟 | . 0 | vi | 4.3.10 改动物体的空间位置… | . 47 |
| 2P 4 | . Japa. | 至江风形及在数值关系 | 3 | W | 4.3.11 定义接触关系 | |
| | 2.1 | DEFORM - 3D 软件的模块 | X | A | 4.3.12 检查生成数据库文件… | . 49 |
| | | 结构 | 10 | 4.4 | 模拟和后处理 | |
| | 2.2 | 塑性成形模拟的特点 | 13 | | 习题 | . 56 |
| | 2.3 | 有限元处理过程的几个问题 | 14 | | | |
| | 综合 | 习题 | 17 第 | 5章 | 方形环锁粗分析 | . 58 |
| 第 3 | 章 | 塑性仿真缺陷预测 ······ | 18 | 5. 1 | 分析问题 | . 59 |
| | 3, 1 | 组织性能的变化和成形缺陷 | | 5. 2 | 建立模型 | . 60 |
| | 3. 1 | 預測 | 19 | | 5.2.1 创建一个新的问题 | . 60 |
| | 3, 2 | 金属的断裂准则及断裂行为 | 10 | | 5.2.2 设置坯料 | 61 |
| | 0.2 | 数值模拟 | 22 | | 5.2.3 坯料网格划分 | . 61 |
| | 3. 3 | DEFORM 软件的缺陷预测 ······· | 25 | | 5.2.4 设置边界条件 ······· | . 61 |
| | 3. 4 | 提高塑性成形数值仿真的精度 … | 26 | | 5.2.5 上模设置 | . 62 |
| | 综合 | 习题 | 29 | | 5.2.6 设置模拟控制 · · · · · · · · · | . 63 |
| | | ** 1 . 10 *** | | | 5.2.7 位置关系确定 | . 64 |
| 第二 | - 嶌 | 基本成形 | 31 | | 5.2.8 接触关系设置 | . 64 |
| Artr . | | Arm per left last that I had tree | | | 5.2.9 检查生成数据库文件 … | . 65 |
| 第 4 | 草 | 锻压模拟基本过程 | 33 | 5. 3 | 模拟和后处理 | . 65 |
| | 4. 1 | 问题分析 | 34 | 综合 | 习题 | . 70 |



第

| 6 : | pis- | 道钉成形分析 | 71 | 7. 2. 3 | 导入几何体 | 102 |
|-----|------|--|--------|----------|---------------|-----|
| Ο. | 早 | 直打成形分析 | 71 | 7.2.4 | 定义初始温度 | 102 |
| 4 | 5. 1 | 分析问题 | 72 | 7. 2. 5 | 分配材料 | 103 |
| - | 5. 2 | 热传导工序分析 | 73 | 7. 2. 6 | 定义工件网格 | 103 |
| | | 6.2.1 创建一个新的问题 | 73 | 7. 2. 7 | 定义工件 Billet 的 | |
| | | 6.2.2 设置模拟控制 | 73 | | 边界条件 | 106 |
| | | 6.2.3 定义毛坯的温度及材料 … | 75 | 7. 2. 8 | 设置上模的运动 | 106 |
| | | 6.2.4 几何体导入 | 75 | 7. 2. 9 | 设置模拟控制的步数 | 106 |
| | | 6.2.5 坯料网格划分 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | 76 | 7. 2. 10 | 检查生成数据库文件 … | 107 |
| | | 6.2.6 定义热边界条件 | 77 | 7. 2. 11 | 模拟和后处理 | 107 |
| | | 6.2.7 检查生成数据库文件 | 78 7.3 | 下模传 | 热过程 | 108 |
| | | 6.2.8 模拟和后处理 ······ | 79 | 7. 3. 1 | 打开前处理 | 108 |
| 1 | 3. 3 | 坯料与下模热传导工序 | 79 | 7. 3. 2 | 设置模拟控制 | 108 |
| | | 6.3.1 打开前处理文件 · · · · · · · · · | 79 | 7. 3. 3 | 定位坯料 | 109 |
| | | 6.3.2 定义上模 | 81 | 7. 3. 4 | 设置接触条件 | 110 |
| | | 6.3.3 定义下模 | 82 | 7.3.5 | 检查生成数据库文件 | 110 |
| | | 6.3.4 调整工件位置 | /82 | 7. 3. 6 | 模拟和后处理 | 110 |
| | | 6.3.5 定义接触关系 | 83 7.4 | 进行镦 | 粗分析 | 111 |
| | | 6.3.6 设置模拟控制 · · · · · · · · · | 84 | 7.4.1 | 打开前处理 | 111 |
| | | 6.3.7 检查生成数据库文件 | 84 | 7.4.2 | 设置模拟控制 | 111 |
| | | 6.3.8 模拟和后处理 ····· | 85 | 7.4.3 | 设置坯料对称面 | 112 |
| - | 5. 4 | 热锻成形工序 | 86 | 7.4.4 | 激活目标体积 | 112 |
| | | 6.4.1 打开原来的数据文件 | 86 | 7.4.5 | 定位上模 | 113 |
| | | 6.4.2 改变模拟控制参数 | 87/ | 7.4.6 | 检查上模运动设置 | 114 |
| | | 6.4.3 设置坯料边界条件 | 88 | 7.4.7 | 回顾接触物体的边界 | |
| | | 6.4.4 添加体积补偿参数 | 88 | | 条件 | 114 |
| | | 6.4.5 上模对称及运动设置 | 89 | 7.4.8 | 检查生成数据库文件 | 115 |
| | | 6.4.6 下模对称设置 | 89 | 7.4.9 | 模拟和后处理 | 116 |
| | | 6.4.7 定位上模 | 90 7.5 | 二次转 | 移热传导分析 | 116 |
| | | 6.4.8 设置接触关系 | 90 | 7. 5. 1 | 打开前处理 | 116 |
| | | 6.4.9 检查生成数据库文件 | 91 | 7.5.2 | 设置模拟控制 | 117 |
| | | 6.4.10 模拟和后处理 | 92 | 7. 5. 3 | 模具的移动 | 118 |
| 1 | 宗合 | 习题 | 97 | 7.5.4 | 检查生成数据库文件 | 120 |
| _ | - | the state of the state of the | | 7.5.5 | 模拟和后处理 | 120 |
| 7 : | ĘĮ. | 齿轮托架成形分析 | 98 7.6 | 终锻成 | 形 | 120 |
| - | 7. 1 | 分析问题 | 99 | 7.6.1 | 打开前处理 | 120 |
| 1 | 7. 2 | 空气传热过程 | 100 | 7. 6. 2 | 设置模拟控制 | 120 |
| | | 7.2.1 创建一个新的问题 | 100 | 7. 6. 3 | 导入几何体 | 121 |
| | | 7.2.2 设置模拟控制 | 100 | 7. 6. 4 | 定位物体 | 121 |

| | 7.6.5 | 设置模具对称面 | 123 | | 9.2.9 | 检查生成数 | 据库文件 | 164 |
|-------------|--|------------------|------|------------|----------------|----------|---------------|-----|
| | 7. 6. 6 | 设置模具运动 | 123 | 9.3 | 模拟和后 | 5处理 … | | 164 |
| | 7.6.7 | 接触条件生成 | 123 | 综合 | 习题 | | | 164 |
| | 7.6.8 | 设置步数及停止条件 | 124 | dat so are | #1 #1 /\ | +c | | |
| | 7.6.9 | 检查生成数据库文件 | 125 | 第 10 章 | 非 刺 刀 | T-19/T | | 165 |
| | 7.6.10 | 模拟和后处理 | 125 | 10.1 | 分析问 | 题 | | 166 |
| 综合 | 习题 … | | 128 | 10.2 | 建立模 | 型 | | 167 |
| 第8章 | | +4+ | 100 | | 10. 2. 1 | 创建一个和 | 折的问题 | 167 |
| 赤の早 | 使大心 | 7.力分析 | 129 | | 10.2.2 | 型轧工艺的 | 的设置 | 167 |
| 8.1 | 分析问 | 题 | 130 | | 10.2.3 | 定义轧制。 | .艺 | 168 |
| 8.2 | 建立模 | 型 | 131 | | 10. 2. 4 | 轧辊设计 | | 170 |
| | 8. 2. 1 | 新问题的建立 | 131 | | 10. 275 | 定义坯料 | | 172 |
| | 8. 2. 2 | 载人数据文件中的 | | | 10, 2, 6 | 定义轧辊 | | 175 |
| | | 计算步骤 | 131 | . 1 | 10. 2. 7 | 定义推块 | | 177 |
| | 8.2.3 | 设置模拟控制 | 131 | THE | 10. 2. 8 | 接触关系记 | と置 | 180 |
| | 8. 2. 4 | 添加附加的工具和 | 1.5 | - /11 | 10.2.9 | 设置模拟技 | 空制 | 182 |
| | | 删除 Billet ······ | 133 | X. | 10.2.10 | 检查生成 | 数据库文件 … | 182 |
| | 8.2.5 | 上模设置 | 133 | 10.3 | 模拟和 | 后处理 | | 183 |
| | 8. 2. 6 | 下模设置 | 136 | 综合 | 习题 | | | 186 |
| | 8. 2. 7 | 上模支撑 | 137 | 第 11 泰 | 如 经 就 | 平分析. | | 107 |
| | 8.2.8 | 下模支撑 | 139 | 35 11 AF | +11C 1+3X /-3X | 10 11 11 | | 101 |
| | 8.2.9 | 定义接触关系 | 141 | 11.1 | 分析问 | 题 | | 189 |
| | 8. 2. 10 | 检查生成数据库文件 … | 142 | 11.2 | 建立模 | 型 | | 189 |
| 8.3 | 模拟和 | 后处理 | 142/ | | 11. 2. 1 | 创建一个新 | 听的问题 | 189 |
| 综合 | 习题 … | A | 146 | | 11. 2. 2 | 设置模拟技 | 控制 | 189 |
| 第三篇 | 成形工 | 艺分析实例 | 149 | | 11. 2. 3 | 坯料设置 | ************* | 190 |
| 212 — 41112 | 74715 | | | | 11. 2. 4 | 上辊设置 | ************* | 190 |
| 第9章 | Wizar | 的使用 | 151 | | 11. 2. 5 | 下辊设置 | | 191 |
| 2004 | ******* | 43 0273 | 101 | | 11. 2. 6 | 设置模拟技 | 空制的步数 … | 192 |
| 9.1 | 问题分 | 析 | 152 | | 11. 2. 7 | 定义接触的 | 长系 | 192 |
| 9.2 | 建立模 | 型 | 152 | | 11. 2. 8 | 检查生成数 | 效据库文件 … | 193 |
| | 9. 2. 1 | 创建一个新的问题 | 152 | 11. 3 | 模拟和 | 后处理 | | 193 |
| | 9. 2. 2 | 基本设置 | 153 | 综合 | 习题 | | | 196 |
| | 9. 2. 3 | 坯料设置 | 155 | 第 12 章 | 楔構刻 | 分析 … | | 197 |
| | 9. 2. 4 | 上模设置 | 158 | 77 | IA DE TE | 111 | | .01 |
| | 9. 2. 5 | 下模设置 | 160 | 12. 1 | 分析问: | 题 | | 198 |
| | 9. 2. 6 | 模具位置设置 | 162 | 12. 2 | 建立模 | 型 | | 199 |
| | 9. 2. 7 | 接触关系设置 | 162 | | 12. 2. 1 | 创建一个新 | 听的问题 | 199 |
| | 9.2.8 | 设置模拟控制 | 162 | | 12. 2. 2 | 设置模拟技 | 控制 | 199 |



| 12.2.3 坯料设置 | 199 15.2 建立模型 | 234 |
|---------------------------|------------------------|-----|
| 12.2.4 上辊设置 | 201 15.2.1 创建一个新的问题 | 234 |
| 12.2.5 下辊设置 | 202 15.2.2 设置模拟控制 | 234 |
| 12.2.6 挡板设置 | 203 15.2.3 材料设置 | 234 |
| 12.2.7 设置模拟控制的步数 … | 203 15.2.4 坯料设置 | 236 |
| 12.2.8 定义接触关系 | 204 15.2.5 上模设置 | 236 |
| 12.2.9 检查生成数据库文件 … | 205 15.2.6 下模设置 | 237 |
| 12.3 模拟和后处理 ······ | 205 15.2.7 设置模拟控制的步数 … | 238 |
| 综合习题 | 208 15.2.8 定义接触关系 | 238 |
| 第 13 章 摆辗成形分析 | 200 15.2.9 检查生成数据库文件 … | 239 |
| 55 15 SE 12 98 NG 15 73 W | 15.3 模拟和后处理 | 239 |
| 13.1 分析问题 | 210 综合习题 | 241 |
| 13.2 建立模型 | 211 | |
| 13.2.1 创建一个新的问题 | 211 第 16 章 模具磨损分析 | 242 |
| 13.2.2 设置模拟控制 | 211 16.1 问题分析 | 243 |
| 13.2.3 坯料设置 | 212 16.2 建立模型 | 244 |
| 13.2.4 上模设置 | | |
| 13.2.5 设置模拟控制的步数 *** | 213 16.2.2 设置模拟控制 | |
| 13.2.6 定义接触关系 | 214 16.2.3 导人毛坯几何文件 | |
| 13.2.7 检查生成数据库文件 ** | 214 | |
| 13.3 模拟和后处理 | 215 | |
| 综合习题 | 218 | |
| 第 14 章 旋压成形分析 | 16.2.6 边界条件定义 | |
| 35 14 ± 16/12/3/3/3/ | TOTAL ALL AND THE | |
| 14.1 分析问题 | 220 16.2.8 定义物体间关系 | |
| 14.2 建立模型 | | |
| 14.2.1 创建一个新的问题 | | 248 |
| 14.2.2 设置模拟控制 | | |
| 14.2.3 坯料设置 | | |
| 14.2.4 滚轮设置 | | |
| 14.2.5 心轴设置 | 223 综合习题 | 255 |
| 14.2.6 顶杆设置 | 224 第 17 章 热处理 | 256 |
| 14.2.7 设置模拟控制的步数 … | 225 | |
| 14.2.8 定义接触关系 | | 257 |
| 14.2.9 检查生成数据库文件 … | 226 17.2 建立模型 | 258 |
| 14.3 模拟和后处理 ······ | 226 17.2.1 创建一个新的问题 | 258 |
| 综合习题 | 231 17.2.2 基本设置 | 258 |
| 第 15 章 断裂分析 | 23.2 输入几何体 | 258 |
| 277 1 V → 101 30C /1 1/11 | 17.2.4 生成网格 | 260 |
| 15.1 分析问题 | 233 17.2.5 材料的定义 | 261 |

| | | 17. 2. 6 | 坯料设定 | | 262 | | 18. 2. 5 | 晶粒边界条件设 | 置 | 276 |
|---|------|----------|-------|------|-----|------|-----------|--------------------|----------|-----|
| | | 17. 2. 7 | 介质定义 | | 263 | | 18. 2. 6 | 位错密度常数设 | 置 | 276 |
| | | 17. 2. 8 | 方案定义 | | 265 | | 18. 2. 7 | 再结晶设置 | | 277 |
| | | 17. 2. 9 | 设置模拟哲 | 音制 | 266 | | 18. 2. 8 | 形核状况设置。 | | 277 |
| | 17.3 | 模拟和 | 后处理 | | 268 | | 18.2.9 | 晶粒生长设置 " | | 278 |
| | 综合 | 习题 | | | 271 | | 18. 2, 10 | 流动应力和材料 | 科常数 | |
| | | | | | | | | 设置 | | 278 |
| 第 | 18章 | 晶粒度 | €分析 | | 272 | | 18. 2. 11 | 初始输入设置 | | 280 |
| | 18.1 | 分析问 | 顯 | | 273 | | 18. 2. 12 | 晶粒演变设置 | ******* | 280 |
| | | 建立模 | | | 274 | 18.3 | 执行演 | 变过程和后处理 | ******** | 28 |
| | **** | 18. 2. 1 | | 听的问题 | | 综合 | 习题 | ······ | | 289 |
| | | 18. 2. 2 | | と置 | | 附录 … | | K | | 290 |
| | | 18. 2. 3 | 离散点阵设 | と置 | 274 | | CAN | 14- | | |
| | | 18. 2. 4 | 边界条件设 | 2置 | 276 | 参考文南 | 4 | ****************** | | 29 |
| | | | | | | .4 | 7 | | | |
| | | | | | 1 | 111 | | | | |
| | | | | | 1.1 | 7. | | | | |
| | | | | 1 | 1 | | | | | |
| | | | | 1/3 | 130 | | Xi. | | | |
| | | | | SAV | | X | 校厂 | | | |
| | | | X | 11/2 | | - KM | | | | |
| | | | 1/4 | | | 11. | | | | |
| | | . 1 | 15 | | XV2 | 7 | | | | |
| | | 1 | 0 | | 73 | | | | | |
| | | 1 | | | | | | | | |



第一篇

理论基础



第1章

塑性成形 CAE 技术



- ★ 了解塑性成形 CAE 技术及国内外现状;
- ★ 了解塑性成形技术的特点;
- ★ 了解 DEFORM-3D 软件的发展、特点及功能。



| 知识要点 7 | 能力要求 | 相关知识 | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|--|--|
| 塑性成形('AE 技术现状 | 了解塑性成形('AE技术及国内 外现状 | CAE技术及塑性成形 (AE 的定义、优点及常见技术 | | |
| 塑性成形技术的特点 | 了解塑性成形技术的特点 | 各种类型的常见的塑性成形技术原理及变形特点 | | |
| DEFORM-3D 软件 | 了解 DEF()RM - 3D 软件的发展、特点及功能 | 了解有限元法及附黏塑性有限 元法 | | |



导入案例

最近几年,随着计算科学的快速发展和有限元技术应用的日益成熟、CAE技术模拟分析金属在塑性变形过程中的流动规律在现实生产中得到越来越广泛的应用。CAE技术的成功运用。不仅大大缩短了模具和新产品的开发周期,降低了生产成本、提高了企业的市场竞争能力。而且有利于将有限元分析法和传统的实验方法结合起来、从而推动推组现代制造业的读读发展。限1.0 为基础件预点形压的纯料应力分布。



图 1 0 锻件预成形后的怀料应力分布

1.1 塑性成形 CAF 技术概述

塑性成形计算机辅助「單(CAE)的特点是以「釋和科學问题为背景、建立计算模學并进行计算机仿真分析。一方面、CAE 技术的应用、使许多过去受条件限制无法分析的复杂问题。通过计算机数值模拟得到满意的解答。另一方面、计算机辅助分析使大量紧杂的正程分析问题简单化、使复杂的过程层次化、节省了大量的时间、避免了低水平重复的工作工程分析更快、更准确、在产品的设计、分析、新产品的开发等方面发挥了重要作用。同时 CAE 这一新兴的数值模拟分析技术在国外得到了迅猛发展、技术的发展又推动了许多相关的基础学科和应用科学的进步。

在企业中, 材料科学中 CAE 技术的应用, 能够提高产品质量、缩短新产品开发周期、 降低生产成本。可以使产品更早地投入市场, 获得更好的经济效益, 更重要的是赢得了宝贵的时间。时间的丧失意味着失去市场先机, 最终将失去客户。

1.1.1 国外 CAE 技术现状

衡量CAE 技术水平的重要标志之,是分析软件的开发和应用。目前、一些发达国家在这方面已达到了较高的水平、仅以有限元分析软件为例。国际上不少先进的大型通用有限元计算分析软件的开发已达到较成熟的阶段并已商品化、如 ANSYS、MARC、DEFORM、DYNAFORM、AUTOFORM、SUPERFORE、SUPERFORM、MOLDFLOW等。这些软件具有良好的前后处理界面。静态和动态过程分析以及线性和非线性分析等多种强大的功能、都通过了各种不同行业的大量实际算例的反复验证,其解决复杂问题的能力和效率,已得到学术界和工程界的公认。在北美、欧洲和亚洲一些国家的机械、化工、上木、水利、材

料、航空、船舶、冶金、汽车、电气工业设计等许多领域中得到了广泛的应用。

就CAE 技术的工业化应用而言,西方发达国家目前已经达到了实用化阶段。通过CAE 与CAD、CAM等技术的结合、使企业能对现代市场产品的多样性、复杂性、可常性、经济性等做出迅速反应、增强了企业的市场竞争能力。在许多行业中、计算机辅助分析已经作为产品设计与制造流程中不可逾越的一种强制性的工艺规范加以实施。以国外某人汽车公司为例、绝大多数的汽车零部件设计都必须经过多方面的计算机仿真分析、否则根本通不过设计审查,更读不上试制和投入生产。计算机数值模拟现在已不仅仅作为科学研究的一种手段。在生产实践中也已作为必备工具普遍应用。

1.1.2 我国 CAE 技术现状

随着我国科学技术现代化水平的提高,计算机辅助工程技术也在我国蓬勃发展起来。 科技界和政府的主管部门已经认识到 CAE 技术对提高我国科技水平、增强我国企业的市场竞争能力乃至整个国家的经济建设都具有重要意义。近年来,我国的 CAE 技术研究开发和推广应用在许多行业和领域已取得了一定的成绩。但从总体来看,研究和应用的水平还不能说很高,某些方面与发达国家相比仍存在不小的差距。从行业和地区分布方面来看,发展也还很不平衡。

目前,一些大型通用有限元分析软件已经引进我国,在汽车、航空、机械、材料等许多行业得到了应用,而且在某些领域的应用水平并不低。不少大型工程项目也采用了这类软件进行分析。我国已经拥有一批种技人员在从事CAE技术的研究和应用,取得了不少研究成果和应用经验,使我们在CAE技术方面聚最者现代科学技术的发展,开发出CAXA等具有自己产权的CAE软件。但是,这些研究和应用的领域以及分布的行业和地区还很有限,现在还上要局限于少数具有较强经济实力的大型企业,能分大学和研究机构。

我国的计算机分析软件开发是一个海弱环节、严重地制约了CAE 技术的发展。在CAE 分析软件开发方面、我国目前仍落后于一些发达国家。计算机软件是高技术和高附加值的商品、目前的国际市场分类国等发达国家所垄断。我国自己民族的软件工业还非常弱小、仅占有很少量的市场份额。作为一个国家、一个民族不能长期依赖于引进外国的技术和产品、因此我们必须加大力度开发自己的计算机分析软件。只有这样才能改变在技术上和经济上受制于人的局面。

1.2 金属塑性成形技术

金属塑性成形技术是现代制造业中金属加工的重要方法之一,它是金属坯料在模具的 外力作用下发生塑性变形,并被加工成棒材、板材、管材以及各种机器零件、构件或日用 器具的技术。

与金属切削加工、铸造、焊接等加工方法相比。金属塑性成形具有以下特点:

(1)组织、性能得到改善和提高。金属材料经过相应的塑性加工后,其内部组织发生显著变化,例如炼钢铸出的钢锭,其内部组织疏松多孔,晶粒粗大且不均匀,偏析也比较严重,必须经过锻造、轧制或挤压等塑性加工,才能使其结构致密,组织改善,性能提高。因此,90%以上的铸钢都要经过塑性加工成钢坯或钢材。此外,经过塑性成形后,金

属的流线分布合理,从而改善了工件的性能。

- (2) 材料利用率高。金属塑性成形主要是靠金属在塑性状态下的体积转移来实现的、不 产生切屑、因而材料利用率高、可以节约大量的金属材料。净成形工艺材料利用率接近100%。
- (3) 生产效率高,适用于大量生产。这一点在金属的轧制、拉丝和挤压等工艺中尤为明显。在冲压工艺中,随着生产机械化与自动化程度的提高,生产率也相应得到提高。例如,高速压力机的行程次数已达到1500~1800次 min,在双动拉深压力机上成形一个汽车覆盖件仅需几秒。
- (4) 尺寸精度高。不少成形方法已达到少、无切削的要求。例如、精密模锻的维齿轮,其齿形部分可不经切削加工而直接使用。精锻叶片的复杂曲面可达到只需磨削的精度,旋压液压缸的表面粗糙度 Ra 范围为 0.40~0.20 μm, 可以直接使用。

由于金属製性加工具有上述特点,因而在冶金、有色金属加工、汽车、拖拉机、字 航、船舶、军工、仪器仪表、电器和日用五金等工业部门中得到广泛应用。

金属塑性成形的种类很多,分类方法目前还不统一。按照成形的特点,一般把塑性加下分为轧制、拉拔、挤压、锻造和冲压五人类。每类又包括多种加下方法,形成各自的下艺领域。在轧制,拉拔和挤压的成形过程中,变形区是不变的,属稳定的塑性流动过程,适于连续的大量生产,提供型材、板材、管材和线材。金属塑性成形在下业生产中分为;自体的、模额、板料冲压、挤压、拉拔、轧制等工艺方法。具体成形工艺不做详细介绍,具体可见《林料或形技术基础》等数材。

1.3 DEFORM - 3D 软件

DEFORM-3D是针对复杂金属成形过程的三维金属流动分析的功能强大的过程模拟分析软件。该软件是一套基于工艺模拟系统的有限元系统、专门设计用于分析各种金属成形过程中的 1维(3D)流动、提供极有价值的工艺分析数据及有关成形过程中的材料和温度流动、典型的 DEFORM-3D 应用包括锻造、摆辗、轧制、旋压、拉拔和其他成形加工手段。DEFORM-3D是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅稳健性好,而且易于使用。DEFORM-3D强大的模拟引擎能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变形和热特性。系统中集成了在任何必要时能够自行触发自动网格重划生成器、生成优化的网格系统。在要求精度较高的区域,可以划分细密的网格,从而降低题目的运算规模,并显著提高计算效率。

DEFORM-3D图形界面既强人又灵活、为用户准备输入数据和观察结果数据提供了有效工具、DEFORM—3D还提供了3D几何操纵修正工具。这对于3D过程模拟核为重要。DEFORM—3D延续了DEFORM系统几十年来—贯秉承的力保计算准确可靠的传统。在最近的国际范围复杂零件成形模拟招标演算中、DEFORM—3D的计算精度和结果可靠性、被国际成形模拟领域公认为第一。相当复杂的工业零件、如连杆、曲轴、扳手、具有复杂筋 翼的结构零件、聚充和阀体、DEFORM—3D都能够令人满意地例行完成。

1.3.1 DEFORM 的发展

20 世纪 70 年代后期、位于美国加州伯克利的加利福尼亚大学小林研究室在美国军方的支持下开发出有限元软件 ALPID(Analysis of Large Plastic Incremental Deformation)。

1990 年在此基础上开发出 DEFORM 2D 软件。该软件的开发者独立出来成立 SFTC 公司 (Scientific Forming Technologies Co.),并推出了 DEFORM 3D 软件,DEFORM 3D 是 集成了原材料、成形、热处理和机加工的软件。

DEFORM 的理论基础是经过修订的拉格朗目定理。属于刚塑性有限元法,其材料模型包括刚性材料模型、塑性材料模型、多几材料模型和弹性材料模型。DEFORM 2D的单元类型是四边形、DEFORM 3D的单元类型是经过特殊处理的四面体、四面体单元比六面体单元容易实现网格重划分。DEFORM 软件有强大的网格重划分功能。当变形量超过设定值时自动进行网格重划分。在网格重划分时、「件的体积有部分损失、损失越大、计算是差越大、DEFORM 在同类软件中体积损失量小

DEFORM 软件提供了多种迭代计算方法。同时该软件提供了丰富的材料库、几乎包含了所有常用材料的弹性变形数据、塑性变形数据、热能数据、热交换数据、晶粒长大数据、材料硬化数据和破坏数据。

1.3.2 DEFORM 的特点

DEFORM 软件具有以下特点:

- (1) DEFORM 3D 是在一个集成环境内综合建模、成形、热传导和成形设备特性进行模拟仿真分析。适用于热、冷、温成形、提供极有价值的 T 艺分析数据。如,材料流动、模具填充、锻造负荷、模具应力、晶粒流动、金属微结构和缺陷产生发展情况等 DEFORM 3D 处理的对象为复杂的三维零件、整具等。
 - (2) 不需要人工干预,全自动网格再剖分。
 - (3) 前处理中自动生成边界条件,确保数据准备快速可靠。
 - (1) DEFORM 3D 模型来自 CAD 系统的面或实体造型(STL SLA)格式。
 - (5) 集成有成形设备模型,如:液压压力机、锤锻机、螺旋压力机、机械压力机等。
 - (6) 表面压力边界条件处理功能活用干解决账形工艺模拟。
- (7) 单步模具应力分析方便快捷,适用于多个变形体、组合模具、带有预应力环时的 成形过程分析。
- (8) 材料模型有弹性、刚塑性、热弹塑性、热刚黏塑性、粉末材料、刚性材料及自定 义类型。
- (9) 实体之间或实体内部的热交换分析既可以单独求解,也可以耦合在成形模拟中进行分析。
- (10) 具有 FLOWNET 和点透示踪、变形、云图、矢量图、力一行程曲线等后处理功能。
- (11) 具有 2D 切片功能,可以显示下件或模具剖面结果。程序具有多联变形体处理能力,能够分析多个塑性工件和组合模具应力。
- (12) 后处理中的镜面反射功能,为用户提供了高效处理具有对称面或周期对称面的 机会,并且可以在后处理中显示整个模型。
- (13) 自定义过程可用于计算流动应力、冲压系统响应、断裂判据和一些特别的处理 要求,如金属微结构、冷却速率、力学性能等。

1.3.3 DEFORM 的功能

1. 成形分析

DEFORM 的成形分析功能包括:

- (1) 冷、温、热锻的成形和热传导耦合分析。
- (2) 丰富的材料数据库,包括各种钢、铝合金、钛合金和超合金。
- (3) 用户自定义材料数据库允许用户自行输入材料数据库中没有的材料。提供材料流
- 动、模具充填、成形载荷、模具应力、纤维流向、缺陷形成和韧性破裂等信息。
 - (4) 刚性、弹性和热黏塑性材料模型、特别适用于大变形成形分析。
 - (5) 弹塑性材料模型适用于分析残余应力和回弹问题。
 - (6) 烧结体材料模型适用于分析粉末冶金成形。
 - (7) 完整的成形设备模型可以分析液压成形、锤上成形、螺旋压力成形和机械压力成形。
 - (8) 用户自定义子函数允许用户定义自己的材料模型。压力模型。破裂准则和其他函数。
 - (9) 网络画线和质点跟踪可以分析材料内部的流动信息及各种场量分布。
 - (10) 温度、应变、应力、损伤及其他场变量等值线的绘制使后处理简单明了。
- (11) 自我接触条件及完美的网格再划分使得在成形过程中即便形成了缺陷、模拟也可以进行到底。
 - (12) 多变形体模型允许分析多个成形工件或耦合分析模具应力。
 - (13) 基于损伤因子的裂纹前生及扩展模型可以分析剪切、冲裁和机加工过程。

2. 热处理

DEFORM 的热处理功能包括:

- (1) 模拟正火、退火、淬火、回火、渗碳等工艺过程。
- (2) 预测硬度、晶粒组织成分、初曲和含碳量、
- (3) 专门的材料模型用于蠕变、相变、硬度和扩散。
- (4) 可以输入顶端淬火数据来预测最终产品的硬度分布。
- (5) 可以分析各种材料品相, 每种品相都有自己的弹性、塑性、热和硬度属性。
- (6) 混合材料的特性取决于热处理模拟中每步各种金属相的百分比。
- (7) DEFORM 用来分析变形、传热、热处理、相变和扩散之间复杂的相互作用。各种现象之间相互耦合。拥有相应的模块以后,这些耦合效应将包括:由于塑性变形引起的升温、加热软化、相变控制温度、相变内能、相变塑性、相变应变、应力对相变的影响以及含碳量对各种材料属性产生的影响等。



一、思考题

- (1) 简述常见塑性成形 Г. 艺成形原理及特点。
- (2) 简述常见塑性成形 CAE 软件及优缺点。
- (3) 简述金属板料成形与体积成形在变形和研究上的区别。

第2章

塑性成形过程数值模拟



- ★ 了解 DEFORM-3D 软件的模块结构;
- ★ 掌握有限元软件仿真求解的基本过程;
- ★ 了解塑性成形模拟的特点;
- ★ 了解有限元分析需要处理的基本问题。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|------------------------|--------------------------------|---|
| DEF()RM-3D 軟件的模块 结构 | 了解 DEF()RM-3D 软件的模块结构及各个模块的功能 | 塑性有限元款件的前处理、求 解器及后处理 |
| 仿真求解的基本过程 | 掌握有限元款件仿真求解过程 的工艺流程及各个工序的功能 | 有限元仿真的实质及实现步骤:划分网格、材料分配、工具及边界条件的设置等 |
| 塑性成形模拟的特点 | 了解塑性成形及其模拟分析的 特点 | 塑性成形 CAE 分析材料的非 线性、几何的非线性和接触的非 线性 |
| 塑性有限元过程的基本 问题 | 了解有限元分析需要处理的基 本问题 | 塑性成形分析的速度场、收敛 依据、摩擦条件、刚性区等基本 理论问题 |

导入案例

塑性加工过程的有限元数值模拟。可以获得金属变形的详细规律。如网格变形、速度场、应力和应变场的分布规律。以及载荷 行程曲线等。通过对模拟结果的可视化分析,可以在现有的模具设计上预测金属的流动规律。包括缺陷的产生。并利用得到的力边界条件对模具进行结构分析,从而改进模具设计,提高模具设计的合理性和模具的使用寿命。 滤少模具重新滤制的次数

刚塑性有限元法是假设材料具有刚塑性的特点、把实际的加工过程定义为边值问题,从刚塑性材料的变分原理或上界定理出发,借有限元模式把能耗率表示为节点速度的非线性函数,利用数学上的最优化原理,在给定变形体某些表面的力边界条件度边界条件的情况下,求满足平衡方程、本构方程和体积不变条件的速度场和应力场。

在塑性成形过程中, 「件发生很大的塑性变形,在位移与应变的关系中存在几何非线性,在材料的本构关系中存在材料(即物理)非线性,工作与模具的接触与牵擦引起状态非线性。因此,金属塑性成形问题非于求得精确解。有限元法是目前进行非线性分析的最强有力的工具,因此也成为金属塑性成形过程模拟的最流行的方法。

在塑性成形过程的有限元模拟中、根据材料应变与位移以及应变与应力之间的关系的 不同可以将有限元解法分为小变形弹塑性有限元法、有限应变弹塑性有限元法、刚塑性有 限元法和黏塑性有限元法。根据有限元求解与实际成形过程的顺序是否一致,可以将有限 元模拟方法分为正向模拟与反向模拟两种类型。

在金属塑性成形过程的有限元模拟方面、各国学者已做了大量的研究工作。20世纪 80年代末期以来、金属塑性成形过程的计算机模拟技术逐渐成熟并进入使用阶段、在工 业发达国家、它已经成为检验模具设计的常规手段和模具设计制造流程的必经环节。其应 用实践已经表明,应用塑性成形过程模拟技术、能大大缩短模具开发周期、优化成形工艺 和工件质量、实现并行工程、产生显著的经济效益。

2.1 DEFORM - 3D 软件的模块结构

成形过程仿真系统的建立,就是将有限元理论、成形 L 艺学、计算机图形处理技术等相关理论和技术进行有机结合的过程。成形问题有限元分析流程如图 2.1 所示。从图中看出,DEFORM 3D 软件的模块结构是由前处理、模拟处理(FEM 求解器)和后处理:大模块组成。

有限元仿真主要包括以下几个过程: 建立几何模型、建立有限元分析模型、定义工具 和边界条件、求解和后处理。

1. 建立几何模型

·般的有限元分析商业软件都提供简单的几何造型功能,可满足几何形状简单的成形 模拟建模需要。形状简单的模具和1.件,可以由分析人员利用模拟软件生成。毛坯通常采



图 2.1 有限元分析的实施步骤

用这种方法生成,一方面它的形状简单,另一方面在 L 艺设计阶段 毛坯的精确尺寸往往还未确定,而是要根据模拟结果确定。

模具型面往往包含自由曲面、需要用CAD系统造型。分析软件一般都具有CAD系统的文件接口、以便读入在CAD系统中生成的设计结果。最常用的文件接口包括,IGES、STL,VDA等。有些软件还针对一些常用的CAD软件开发了专用接口。

由模具设计人员用CAD软件设计的几何模型,往往不能完全满足有限元分析的要求、例如曲面有重叠、缝隙,包含过于细长的曲面等。因此,需要进行检查和修改、消除这些缺陷。另外,原始设计中包含的一些细小特征,如小凸台,拉深筋等,应该删去,以免导致在这些区域产生过多细小的单元,不必要地增加计算1.作品,这些过程一般称为几何清理。

2. 建立有限元分析模型

1) 划分网格

划分网格是将问题的几何模型转化成高散化的有限元网格。分网时要根据问题本身的特点选择适当的单元类型。根据问题的几何和受力状态的特点,尽可能选用较简单的单元类型,例如平面应变问题和轴对称问题仅在平面内进行离散化尽量不用二维单元。一般说来、采用:角形和四面体单元;算精度低。四边形和六面体单元计算精度较三角形和四面单的三角形单元和四面体单元计算精度板。四边形和六面体单元,尤其是难以实现全自动剖分。如果可能,应尽量采用四边形和六面体单元。为了便于在计算中根据曲率变化和应变换的变化灵活地进行网格密度调整(细化和粗化),提高或形模拟的精度,也常常采用可变节点数的讨准单元。

网格划分的方法主要可分为两类。一类是映射法、或称为结构化的方法、使用这种方法首先要将需要分网的区域分解成四边形或三角形的较规则的子域、每个子域作为一个超单元。然后针对每个子域给定各边的节点数量、最后生成与子域形状相似的单元。这类方法用户易于控制、以实现其特定的意图、但操作麻烦、网格的质量不一定好。

另一类是自由的或非结构化的方法,这类方法所依据的算法种类繁多,由于其自动化水平高,一般而言牛成的网格质量好,能适应各种复杂的情况,用户可以指定各个位置单元的边长以实现网格密度的变化,使用更为方便。在成形模拟中,毛坯形状简单,可用映



射法分网,而模具型面一般由许多曲面片构成。形状复杂。一般采用自动剖分方法。

分网后应检查网格质量,其中包括;单元各边长应尽可能相等。单元的内角应尽可能 平均, 4节点壳单元的各节点应尽可能其面。另外, 为使离散后的有限元模型尽可能接近 **原模型的几何形状,应控制离散化前后的表面之间的最大偏差。对于检验不会格的单元。** 需要调整网格密度控制参数重新分网、或进行局部的手下调整、如移动节点位置。网格加 密等。

2) 选择材料模型

功能强的分析软件提供的材料模型种类较多、用户可以根据问题的主要特点、精度要 求及可得到的材料参数洗择合适的模型、并输入有关参数、例如对于各向量性较强的板材 的冲压成形,应洗用塑件各向异性材料模型;对于热锻问题,应洗用黏塑性模型,为了提 高计算精度, 还可以考虑选用材料参数随温度变化的模型; 为了预测冷锻等成形过程中工 件的内部裂纹,可以采用棉伤模型,等等 越是复杂的模型,其计算精度越高,们计算量 也会提高,同时所需输入的材料参数也越多。一般而言,材料的物理性能和弹性性能参 数,如密度、热容、弹性模量、泊松比等,对于材料成分和组织结构小的变化不太敏感, 精度要求不特别高时,可以参照类似材料的参数给定。但是材料的塑性性能是结构敏感 的,与材料的成分、组织结构、热处理状态,以及加工历史等都有密切关系,需要通过试 验测定。

3) 选择求解算法

对于准静态的成形过程, 应尽可能洗用静力算法求解, 以避免采用动力算法时人为引 人的惯性效应,同时静力算法求得的应力场也更为准确,有利于回弹预测的准确性。对于 高速成形计程, 应采用动力等让求解, 以便考虑惯性效应的影响, 另外, 对于静力等法不 易收敛的准静态间题,也可利用动力管法对强非线性问题的强大处理能力进行求解,但要 仔细地考察惯性效应带来的误差。

在体积成形模拟中, 若主要关心成形过程中工件的变形情况, 应采用刚塑性有限元 法,以减少计算量; 若还要考虑工件卸载后的残余应力分布,则应采用弹塑性有限元法。

3. 定义工具和边界条件

1) 定义边界条件

成形模拟中的位移边界条件主要是对称性条件、利用对称性可以大大减小所需的计算 量。在液压成形中要定义液压力作用的工件表面和液压力随时间的变化关系。热分析中的 边界条件包括、环境温度、表面换热系数等。

2) 定义工具

在成形模拟中直接给定工件所受外力的情况是很少见的。工作所受的外力主要是通过 工件与模具的接触施加的。建立几何模型时定义了工具的几何形状,划分网格时建立了工 具表面的有限元模型。为使下具的作用能正确施加到下件上,还需定义下具如下三方面的 性质.

(1) 位置和运动。将各个工具放置到正确的位置上、每个工具应有正确的相对位置关 系。通过 [具的选择,定义每一道 [序中起作用的 [具。 [具的运动方式 主要有两种,直 线运动和旋转。定义直线运动需给定运动方向和位移(或速度)随时间的变化规律;定义旋 转需给定转轴和转角(或角速度)随时间的变化规律。

- (2)接触和摩擦。有的软件提供了多种接触和摩擦的处理方法供用户选择、有的仅提 供缺省的处理方法,仅需输入摩擦因数或摩擦因子。
- (3) 其他工艺参数。例如冲模中的压边圈需要给定压边力。冲模的拉深筋若直接用其几何形状来建模、就要对工件流过拉深筋的部分细分网格、不必要地增加了计算量、所以通常采用等效拉深筋模型(线模型)来模拟它对板材的进料阻力。用户可以直接输入确定拉深筋阻力的参数,也可以给出拉深筋的剖面尺寸,由软件计算出对应的拉深筋阻力。

4. 求解

求解阶段一般不需用户干预。成形过程模拟由于具有高度非线性性质,计算量很大。 计算过程的有关文字信息可以从输出窗口观察,可以通过图形显示随时检查计算所得的中 间结果。如果计算出现异常情况或用户想改变计算方案,可以随时中止计算进程。计算的 中间结果将以文件形式保存。重新启动计算时不必从头算起,可以从保存了结果的时刻算 起。另外,塑性成形中,尤其是体积成形中,网格可能发生严重的畸变,在这种情况下, 为保证计算的正常进行需要重分网格,然后再继续计算。功能强的软件可以自动地进行网 格自适应重分,不必用户干预。

5. 后处理

后处理通常是通过读入分析结果数据文件激活的。分析软件的后处理模块能提供工件变形形状、模型表面或任意剖面上的应力-应变分布云图、变形过程的动画显示、选定位置的物理最与时间的函数关系曲线、沿任宣曲线路径的物理最分布曲线等。使用户能力便地理解模拟结果,预测成形质量和成形缺陷,如冲压成形模拟中用成形极限显示工件各部分的安全裕度、用光照效果图显示工件的起赞参表面缺陷,体积成形中用损伤因子分布云图显示工件内部出现裂线的危险程度,用选定质点的流线显示成形中金属的流动方式。

2.2 塑性成形模拟的特点

- 与 ·般的有限元结构分析类似、塑性成形过程模拟也可以大致分为建模(即建立几何模型)、划分网格(即建立有限元模型)、定义 1.具和边界条件、求解和后处理几个步骤。 但是塑性成形模拟还有自身的特点:
- (1) 工件通常不是在已知的载荷下变形,而是在模具的作用下变形,而模具的型面通常是很复杂的。处理工件与复杂的模型面的接触问题增大了模拟计算的难度。

(2) 塑性成形中往往伴随着温度变化, 在热成形和温成形中更是如此, 因此为了提高模拟精度, 有时要考虑变形分析与热分析的耦合作用; 塑性成形还会导致材料微观组织性能的变化, 如变形织构、损伤、晶粒度等的演化, 考虑这些因素也会增加模拟计算的复杂程度。

2.3 有限元处理过程的几个问题

体积成形为大变形,仿真过程中主要应用的有限元方法包括: 刚塑性有限元、刚黏塑性有限元, 其理论部分在其他专门的理论数材已经讲得很透彻了,这里不再赘述。这里只讨论有限元计算前和计算过程中还需要处理的技术问题,以便大家在仿真前处理参数的选取过程中能够合理。

1. 初始速度场的生成

用迭代方法求解非线性方程组时,需要设定一个初始的速度场作为迭代的起始点,并利用该起始点进行反复迭代占至收敛于真实解。初始速度场的选择不可能,也没有必要十分精确,但必须满足边界条件,并大体上反映出材料变形过程中的流动规律。初始速度场进择的好与坏,直接影响到收敛速度的快与慢,当初始速度场与实际速度场相差较大时,就难以收敛,甚至还会发散。最常用的初始速度场的产生方法有以下几种。

1) 工程近似法

对于变形毛烁形状和边界条件比较简单的情况,可以采用能量法、上限法等工程计算 方法求得近似速度场作为有限元计算时的初始速度场。

2) 网络细分法

首先将变形体分成几个大的单元,采用均匀速度场作为初始的速度场进行计算,取得收敛到一定程度的计算结果。再将单元进一步细分,并用插值法获得细分后新节点的速度值,以此作为新的初始速度场,重复求解过程,经反复迭代,直到取得满意的结果。

该方法需要有相应的程序来处理新旧节点间的编号对应关系,并在此基础上正确地对 新增节点的坐标和速度进行插值计算。

3) 近似污函法

对于形状和边界条件都比较复杂的变形体,多采用近似泛减的方法来生成初始速度场,具体思路是:从广义变分原理的几种泛减出发,构造一个与总能最泛减相近的泛减 II,并能由其取得驻位的条件(3II 0)获得线性方程组,用这个方程组求得满足边界条件的速度场作为初始速度场。近似泛函II可采用拉格朗口乘子法和罚函数法。

2. 收敛判据

在刚(黏)塑性有限元求解过程中,还必须给出一个收敛标准,作为非线性方程组迭代收敛的判据。常用的收敛判据有以下几种。

- 1) 凍度收敛 料据
- 以节点速度修正量的相对范数比作为收敛判据。
- 2) 平衡收敛判据
- 以节点力不平衡量的相对范数作为收敛判据。

3) 能量收敛判据

以能量泛函的一阶变分值作为收敛判据。

3. 摩擦边界条件的选择

摩擦现象是金属成形过程中普遍存在且十分复杂的问题,如何正确地处理摩擦边界条件,选择合理的摩擦模型将直接影响到有限元计算结果的准确性。常用的摩擦边界条件有以下几种,

1) 剪切摩擦模型

假设摩擦表面上摩擦因子 m 为一堂数, 即

$$\tau_{\ell} = mk \tag{2-1}$$

式中: τ 为摩擦应力; m 为摩擦因子、 $0 \le m \le 1$, k 为剪切屈服极限, $k = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}}$

式(2-1)活用于与模具接触的塑性变形区部分

2) 库仑隆榕模刑

假设摩擦因数产为一个常数,摩擦应力与摩擦表面上的正压力成正比,即

$$\tau_{i} = \mu \dot{p}$$
 (2 - 2)

式中, 5为正压力。

式(2-2)适用于与模具接触的相对滑动速度较慢的刚性区部分,所求出的摩擦应力应 小于等于剪切屈服极限。

使用这一摩擦模型时,可先假定一种摩擦力分布模式,由此计算出相应的正压力,并 由计算出的正压力给出新的摩擦力分布。重复以上过程,反复迭代直到前后两次迭代得出 的摩擦力分布基本一致为止。

3) 线性黏壓擦模型

假设摩擦因数为相对滑动速度 Ari 的函数,即

$$\tau_t = \alpha \Delta u p$$
 (2 - 3)

式中: α 为一常数,此时 $\mu = \alpha \Delta u$.

式(2-3)适用于与模具接触的相对滑动速度较快的刚性接触区,所求出的摩擦应力小于等于剪切屈服极限。

4) 能量摩擦模型

假设摩擦消耗的功为相对滑动速度 Au, 的函数。即

$$\prod_{f} = -\int_{\sigma} k |\dot{\boldsymbol{u}}_{r}| \, \mathrm{d}S \tag{2-4}$$

式中的负号表明摩擦力和相对滑动速度方向相反。

5) 反正切摩擦模型

假设摩擦力为相对滑动速度 i, 的反正切函数,即

$$\tau_{f} = -mk \left\{ \frac{2}{\pi} \arctan \left(\frac{|\dot{\boldsymbol{u}}_{f}|}{\alpha |\dot{\boldsymbol{u}}_{d}|} \right) \right\} \dot{\boldsymbol{u}}_{0}$$
 (2-5)

式中; m 为摩擦因子; k 为剪切屈服强度; a 为比模具速度小几个数量级的正数, 一般取 105; ii。为模具速度; ii。为一单位矢量。

上述公式特别适用于变形材料中存在相对滑动速度为零的中性点或中性区的加工过

程, 当 $|u_i| = 0$ 时, $v_i = 0$, 此时摩擦应力改变方向。

4. 刚性区的简化

刚(黏)塑性有限元建立于刚(黏)塑性变分原理之上,而刚(黏)塑性变分原理只适用 于塑性变形区。因为在刚性区内应变速率接近或者等于零、在计算过程中会引起泛病变 分的奇异。造成计算结果的溢出,因此有必要区分塑性区与刚性区。但在计算开始时、 根难准确地确定塑性变形区与刚性区的交界面,为了解决该问题。常采用简化的处理 办法。

5. 边界条件的处理

材料变形过程中,会出现边界条件的动态变化。对于金属塑性加工,其边界条件可分为两大类;自由表面和接触表面。自由表面是变形体可以自由变形的那部分表面,它是一种给定裁荷为零的特殊力面;而接触表面是变形体与模具相接触的那部分表面,它是一种给定了外力或位移(速度)的混合面。动态边界条件的处理,主要是指对接触问题的处理、包括,对接触问题的几何机制(触模与脱模)和物理机制(磨擦模型)等的处理。

1) 速度奇异点的处理

速度奇异点是指材料在变形过程中由于受模具约束其流动速度发生急剧变化的点。为 了保证能最守恒,在刚(黏)塑性有限元计算过程中就要求节点处受力平衡和节点处速度一 致,由于在速度奇异点处节点速度发生突然变化,所以会影响到计算结果的精度和迭代的 收敛性。通常处理奇异点的方法有以下几种;

- (1) 局部细分单元法。将速度奇异点附近局部区域的单元划分得密一些,并使节点避 开速度奇异点,这样就能够较好地反映局部速度的腐烈变化。
- (2) 双速度点处理法。使共用速度奇异点为节点的两单元在速度奇异点处的节点有共同的坐标值、但具有不同的速度、相当于速度奇异点被分属不同单元且具有不同速度的节点所共用。
- (3)多速点处理法、将速度奇异点看作由多个节点组成的复合点。和双速度点法相仿,复合点处的节点分属不同的单元,在满足单元之间不相互分离又不相互嵌入的条件下,它们有各自的速度。这种处理方法能够满足速度奇异点周围的材料任意流动情况,并能将相邻单元之间的潜动量和几何上的重叠或分离量反映在能量泛函中。

2) 翻边现象的处理

在镦粗或类似的材料成形 1. 艺中,如果材料与模具间的摩擦因数较大、且变形达到一定程度时,就有可能发生翻边现象,翻边时毛坯的侧边金属翻转而上与上模相接触,形成新的边界。

3) 脱模与触模处理

脱模与触模处理的实质就是在每一个增量加载步长内处理边界节点与模具的接触和脱 高而引起的约束条件的变化。对于接触模具的节点应及时施加边界约束条件,使之只能沿 模具塑整表面移动,而不会穿透模具,对于脱离模具表面的节点,应当解除其速度约束。

6. 时间步长的确定

用迭代方法求解非线性方程组时,还需要确定一个时间步长来控制求解过程、并在迭 代收敛后利用该时间步长更新有关场量。体积成形有限元时间步长的确定要考虑以下几方 面的约束:

1) 触模和脱模条件

2) 体积不变条件

体积不变条件应考虑变形材料所允许的最大应变增量对应的时间步长 Δr, Δr, 主要根据体积不变条件而定。Kobayashi 等指出、当位移步长为成形件高度的 1%、变形量达到 90%时,体积的损失为 2.3%、因此、如果要求体积损失不大于 2%、必须使位移步长不超过变形体当前高度的 1%。

3) 迭代收敛性条件

迭代收敛性条件应考虑迭代收敛性所允许的时间步长 Δt_1 。从速度场的收敛性方面考虑,时间增量步长不宜太大,否则会使收敛速度下降,甚至不收敛。

7. 网格的重新划分

用例(黏) 塑性有限元法计算材料成形过程时,随着变形程度的增加和动态边界条件的变化,初始划分好的规则有限元网格,会发生部分畸变现象,网格出现不同程度的扭曲,从而影响有限元的计算精度,严重时会使迭代过程不收敛。



一, 简答题

- (1) 一般有限元软件都包括哪几个模块?
- (2) 有限元仿真主要包括哪几个过程?

二、思考题

- (1) 常见的金属材料模型包括哪些?
- (2) 塑性有限元的常用算法包括哪些?
- (3) 板料成形与体积成形的区别是什么?
- (4) 有限元软件计算中常见的接触形式包括哪些?
- (5) 简述常见的经典摩擦理论及原理。

第3章

塑性仿真缺陷预测



- ★ 了解塑性成形仿真的常见缺陷预测;
- ★ 了解金属的断裂准则及断裂仿真的预测;
- ★ 了解 DEFORM-3D 软件的缺陷预测;
- ★ 了解利用 DEF()RM-3D 软件预测塑性成形工艺中如何提高准确度。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|------------------------|--|---------------------------|
| 塑性成形仿真的常见缺陷 预测 | 了解塑性成形仿真的常见缺陷 预测 | 塑性成形中的组织变化、失稳 现象、起皱及破裂 |
| 金屬的断裂准则及断裂 仿真 | 了解常见的断裂准则及测定 方法 | 断裂产生的基本理论 |
| DEF()RM-3D 软件的缺陷 预测 | 了解 DEFORM-3D 分析中的缺陷及预测 | 折叠、克不满、排气问题及断 影的表现形式 |
| 提高塑性成形数值仿真的 精度 | 了解塑性成形仿真中的有限元 基本特点,结合仿真工序,掌握 影响仿真精度的基本因素 | 材料的准确描述, 网格的划分, 摩擦的取值 |

- 导入案例

金屬成形缺陷的預測研究是預防缺陷、提高廣量和控制成形的关键所在。金屬塑性成形过程中的缺陷主要分为表面缺陷和内部缺陷两大类。常见的表面缺陷有折叠、开裂和充不足等,这些表面缺陷的产生将导致产品的报废,从而造成很大的经济损失。内部缺陷主要表现为产品内部的开裂,由于产品的内部缺陷具有一定的隐蔽性,会给产品的工程应用带来很大的仓害性。因此,通过预测研究来制定缺陷防止措施对工业生产具有重要的价值。成形缺陷的发生直接影响生产和产品质量、能够预见这些缺陷的发生,对积极推进产品设计、工艺工程设计的科学性、控制并消除缺陷的发生,具有重要意义。

长期以来,人们从实验模拟、理论分析和数值计算三个方面对金属塑性成形进行了 大量研究工作,各种模拟技术在研究和生产中得到应用并迅速发展。

随着计算机及计算技术的迅猛发展。以有限无法为代表的数值模拟方法已广泛应用于金属塑性成形进程分析。运用刚塑性有限无方法进行金属塑性成形缺陷预测也取得了 较大的成功。一方面、数值模拟方法可以实时跟踪描述金属的流动行为。揭示缺陷形成的机理,具有直观、形象的特点;另一方面。现代大容量、高速度的计算机客观上使得 短时间内系统模拟不同成形条件下的塑性成形过程成为可能。因而可以在有限的时间内得到比较全面的模拟结果。无疑。数值模拟方法作为一种缺陷预测手段具有很大的优越性、图30为有限无预测的和釘并叠分析和实验的对比。



图 3.0 扣钉折叠分析和实验对比

3.1 组织性能的变化和成形缺陷预测

1. 成形过程的组织变化

塑性成形过程中材料组织性能的变化在金属塑性成形过程中,伴随着材料组织性能和微结构的变化,例如变形诱导织构和损伤的演化,热加工过程中的相变与再结晶,等等。一方面,材料的组织性能对材料的成形性能有很大的影响,在分析时要加以考虑。例如,材料的微观组织演化会影响其屈服应力和塑性、多晶体金属材料的织构会导致塑性各向异性等。另一方面、材料的组织性能及其演化义直接影响零件的使用性能,应该在塑性成形中予以控制。

由织构引起的塑性各向异性目前通常是采用宏观的现象学模型,如 Hill 提出的两种各向异性屈服准则加以考虑。织构演化可以利用晶体塑性理论进行分析,但目前对于织构演化的预测主要还是定性的。

对于损伤的分析,目前较为成熟的是 Gurson 所提出并被其他研究者所修正的各向同性空洞损伤模型,它已为许多商用软件所采用,作为预测塑性冷加工中损伤破坏的手段。 福佑的海化与平均应力有密切的关系。

材料热加工中的相变与再结晶要与变形分析与热分析结合进行。具体材料在一定的温度和应力条件下相变转化规律和晶粒长大规律以及各相力学性能与温度的关系都要通过实验测定。在这种分析中,要考虑变形、传热和组织转变:者的相互影响。

塑性成形中材料组织性能演化规律的研究,是一个力学、材料科学和塑性成形工艺等 多学科交叉的研究领域,应该采用多学科协同的研究方法,通过力学分析预测应变场、应 力场和温度场,通过材料科学研究和实验,建立具体材料的组织、性能和微结构演化规 律,通过塑性成形工艺研究,探索利用上述分析结果实现工艺优化的途径。

2. 成形过程的稳定性

一般说来,在弹塑性变形起始阶段,变形模式是唯一的,即解是唯一的,也是稳定的。随着变形的进行,载荷的增加,新的变形模式成为可能,解也就失去唯一性。

受压失稳一般表现为由压缩变形模式转变为弯曲变形模式。如压杆失稳、板料成形中的起皱。受压失稳在弹性或弹塑性状态下都可以出现。主要受刺度参数影响。受拉失稳 - 酸表现为由均匀变形模式转变为局部化的变形模式。旋终变形集中于某一局部而发展成破 製,如圆棒或板料试件的拉伸断裂。板料成形中的酸裂。受拉失稳发生在塑性变形阶段,主要受强度参数的影响。受拉失稳受儿何软化(即由于截面积破小而导致局部抗力减小)的影响很大。在复杂的成形过程中。这两种失稳可能同时出现。

3. 起皱和折叠的预测

板材冲压成形过程十分复杂,成形中工件的起皱有一个产生和发展的过程。有的皱纹可以在加下中压平消失、回弹过程中也可能出现皱纹。另外、如果皱纹只发生在要切除的部分,则对零件没有影响。因此、对于板材成形过程的起皱分析通常是采用有限元模拟等数值方法来追踪起皱的整个发展过程。由于起皱都位的形状要由变形后的节点坐标插值所构造的曲面来表示。因此应在思皱发生的部位采用密网格。以便准确地反映皱纹的形状。最好采用自适应网格重分技术、根据皱纹大小调整局部网格的疏密。另外、利用特征值分析可以更精确地预测起皱。而根据面内 2 个主应变的值也可以大致预测起皱。

与板材成形中的起皱一样,体积成形中的折叠也是通过工件变形后的形状表现出来的。因此,也应采用自适应网格重分技术,追踪折叠的形成过程。

4. 破裂分析

- 1) 破裂的理论分析方法
- (1) 损伤理论。采用损伤力学方法、分析变形中空洞的萌生、长大和连接、最后导致 宏观断裂的过程。这种研究应该与微观分析相结合。
- (2) 塑性变形局部化理论。无论何种材料(单晶体、多单体或非晶体材料),其延性都 受到应变局部化(应变集中)的限制,这说明采用连续介质力学方法研究变形局部化问题是

适宜的。当然、材料的微观组织的不均匀性以及结构本身的初始缺陷等,对于触发变形的局部化有重要的影响。即变形局部化迟早是要发生的,但何时发生则受材料和结构的不均匀性的影响。

变形局部化有两种主要的形式,缩颈和剪切带。其中剪切带的产生是一种典型的分岔 现象。在高速的塑性变形过程中、由于塑性变形功转化成的热量来不及扩散,会造成绝热 剪切带。

- 2) 全属 IT 成形性的经验准则
- (1) 朔性功准则。即

$$\int_{0}^{r_{i}} \overline{\sigma} d\overline{e} = A \qquad (3-1)$$

式中: A 为由材料和加工方式确定的常数, 它表示材料的成形极限。

(2) 临界拉伸塑件功准则(Latham 准则)。即

$$\int_{0}^{\overline{r}_{\parallel}} \sigma_{\Gamma} d\overline{\epsilon} = B \qquad (3-2)$$

式中: σr 为最大拉应力, B 为与材料和加工方式有关的常数。

在式(3-2)中计入静水应力的影响,得到一个修正的准则

$$\int_{0}^{\varepsilon_{l}} \frac{\sigma_{l} d\tilde{\varepsilon}}{3(\sigma_{l} + \sigma_{l})} = C \tag{3-3}$$

以上两种准则中,式(3-1)与实验吻合较好。

(3) Osakada 等提出的半经验准则。即

$$\int_{0}^{r_{i}} \langle \bar{\epsilon} + ap - b \rangle d\bar{\epsilon} = 0$$
 (3-4)

式中: a、b、C 均为由实验确定的常数; p 为静水应力。

$$\langle x \rangle \Rightarrow \begin{cases} \langle x \rangle & \langle x \rangle = 0 \\ 0 & \langle x \leqslant 0 \rangle \end{cases}$$

式(3-4)是通过大量实验总结出来的。

经验公式和基于空洞发展的理论公式都表明了静水应力对于延性断裂的重要影响。这 些准则都不是应力准则而是能量准则,这说明延性断裂有一个发展过程。

以上公式可以写为一个通式:
$$\int_{0}^{\varepsilon_{1}} f(\sigma_{1} d\overline{\varepsilon}_{p}) = C$$

3) 板材的可成形性

在板材成形中,可成形性一般是由其变形的稳定性决定的。即出现变形局部化或起皱即标志着产生缺陷。对于成形极限曲线,理论上也提出了一些根据材料参数进行预测的方法,由于本书主要讨论 DEFORM 在塑性成形的应用,板料成形的分析不是强项,比如利用自身划分网格都存在问题,所以相关理论略过。

- 4) 体积成形中的可成形性
- (1) 体积成形中破裂的分类。体积成形中的破裂可分为如下 3 类:①自由表面破裂、发生于镦粗及有关加 L(如弯曲);②由 L件 模具接触表面开始发生的破裂;③ L件内部的破裂。
- (2) 表面开裂的经验准则。Kudo 等人利用镦粗实验得出了如下出现表面破裂的直线 条件。即

$$\varepsilon_{\theta_l} = a - \frac{1}{2} \varepsilon_{h_l}$$
 (3.5)

式中: ε, 和 ε, 分別为出现破裂时的环向和轴向应变; a 为平面应变时的破裂应变。

5) 破裂预测

采用有限元法预测破裂时。大致有2种做法,

- (1)在应变集中处局滞细分网格,当变形集中于某种单元而使其急剧变形甚至导致计 算发散时,即认为该处发生破裂。若配合采用空单元技术,可追踪破裂的发展过程。
- (2)采用有关经验的和理论的破裂准则(如损伤破裂准则、成形极限曲线、表面破裂的自线准则等),即使不细分单元,也可将有限元模拟所得各离散点处的应力、应变值代人该些准顺来预测破裂。

5. 回弹分析

1) 预测方法

成形加载过程模拟结束以后,已经得到了1件变形后的形状,应力、应变分布和表面力分布。此后,在约束工件的刚体运动自由度的情况厂(如约束1个节点的企部位移和另外2个节点的部分位移自由度,进行到载,将节点外力减小到零。由于内、外力应平衡,所以应力分布也将随之变化。最后得到残余应力分布和卸载后工件的最终形状,如果问弹中出现反向屈肢,则需分步卸载,且最好采用随动强化本构方程以考虑包ទ格效应。

同弹分析应采用隐式算法、避免采用动力显式积分算法。因为动力显式计算中的最终 稳定静止状态是由系统最低领率的振动周期所决定的。由于显式算法中对时间步长 Δι 的 限制、会使回弹分析所谓计算步数大大超过成形分析所谓计算步数;而回弹过程基本上是 线性的,用隐式算法不难分析。

2) 预测精度

准确描述应力沿下件厚向的分布对于准确地计算弯矩,从而准确地预测回弹有很大影响,适当增加沿厚向的积分点数(例如取7个点)有利于提高回弹预测的精度。

迄今为止,回弹分析的结果还不能令人感到满意。这可能与校正弯曲所带来的复杂性 有关,这方面还有待于探索。

3.2 金属的断裂准则及断裂行为数值模拟

1, 金属断裂行为模拟

在金属成形和加工工艺中。不可避免地出现材料的断裂现象。这种现象有利有弊。比如拉深工艺中的破裂、挤压厂艺的十字和人字裂纹、锻造工艺的开裂等。断裂是成形过程中需要避免的主要缺陷之一。设计时必须避免出现断裂现象。而对上冲裁、切料的材料分离、切削工乞的切屑。断裂往往是不可避免的。所以合理的预测加工工艺中裂纹的产生以及准确分析有撕裂现象的产品最终形貌,对现代研究和设计具有举足轻重的作用。

随着数字化模拟仿真在制造业的广泛应用、材料模型至关重要。为了合理利用材料的 断裂行为,减少金属成形 1. 2. 不必要的断裂危险,有限元仿真可以提供强有力的保证,准 确地对材料的断裂行为进行模拟仿真,除了能够准确处理材料的非线性、几何的非线性以 及边界条件的非线性等问题以外,模拟过程材料断裂的判定和材料断裂后网格的调整和重划分显得尤为重要。网格的删除和重划分技术主要为软件开发商研究的对象,所以对一般 科技研究人员,断裂准则的准确获得成为金属断裂行为数值模拟仿真的最关键因素。

在赖性成型工艺中,像挤压和锻造等,裂纹是主要缺陷之一,图 3.1 所示是挤压工艺有限元分析成功预测的人字形裂纹,这是由于工艺摩擦力太大,材料内部受轴向拉应力作用的结果。

在金属的切削工艺中,是利用金属的断裂获得最终产品,材料的韧性,刀具进给和速度等都直接影响切削的质量、图 3.2 所示为金属切削工艺的有限元数值仿真。



图 3.1 挤压工艺人字形裂纹



图 3.2 金属切削材料断裂

冲裁是涉及材料弹延性变形和断裂的剪切工艺,其不仅使金属产生塑性变形,而且产生金属的断裂分离。不同的工艺参数比如间隙、模具圆角,压边圆位置和形状会获得不同的断面质量和裂纹扩展方式,这些研究对冲裁尤其是精密冲裁具有重要的理论意义和市场价值。图 3.3 和图 3.4 所示分别为切断和籍密冲裁的数值模拟仿真。



图 3.3 切断工艺材料的模拟仿真



图 3.4 精冲材料断裂后的产品模拟仿真

2. 断裂准则的测定

断裂准则值直接影响到数值模拟仿真的裂纹产生时间和金属断裂后材料的特征,比如 冲裁产品的断面质量,所以获得准确的断裂准则值对材料断裂行为的数值模拟仿真至关 重要。

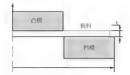


图 3.5 断裂准则测定原理

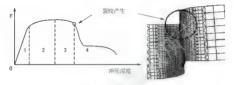
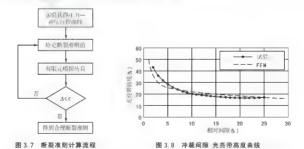


图 3.6 冲载试验和模拟分析裂纹产生比较

设U, 为试验裂纹产生时的冲压深度,U, 为模拟仿真获得裂纹产生时的冲压深度。其相对误差为: $\Delta = \frac{U,-U}{U_{\star}}$, 当 $\Delta \leq \varepsilon$ 时,即认为符合有限元参数要求,其中 ε 为用户自定的极小值。图 3.7 所示为整个断裂准则获得的流程。

法国学者 Ribaha Hambli 利用获得的断裂准则对不同间隙冲裁工艺零件的場角深度、光亮带、剪裂带和毛刺深度进行有限元分析和试验研究进行对比、情况非常符合。如图 3.8 所示为不同间隙冲裁工艺中、光亮带与间隙的关系曲线。



在金属断裂行为的预测方面,有限元技术可以对其进行模拟仿真,其关键问题在于分析过程断裂准则的准确,通过冲裁试验和有限元模拟结果获得合理的断裂准则, 对塑性战

形中的宏观断裂和裂纹可以得到较好的预测,实现对断裂的判断和描述。实践表明,合理利用有限元模拟仿真技术对金属断裂行为进行分析,可以准确预测金属成形缺陷,优化工 产路线和工艺参数。

3.3 DEFORM 软件的缺陷预测

获得有限元结果并进行分析是仿真的最终目的、结果是否准确 主要取决于前处理的设置,而具体的缺陷判断是从后处理结果获得的,从后处理中能够获得还料的变形情况和各种力学状况,因此可以判断各种缺陷的产生。

- (1) 充不满情况 加图 3.9 所示。分析后的网络可以直接反映充不满的情况。
- (2) 折叠现象。图 3.10 所示直接反映了网格在成形过程就已经发生了折叠现象。



图 3.9 充不満



图 3.10 折叠

- (3)排气问题引起的缺陷。如图 3.11 所示,从有限元的结果来看,将来这些地方能够充满,从后处理看不出缺陷,但从成形过程中可以看到,空隙处会集结空气,没办法排除,实践证明这些地方确实不能充满,甚至可能引起模拟开裂。
- (4) 裂纹、DEF()RM 引进了损伤概念和断裂模型,可以直接预测材料的裂纹和断裂,如图 3,12 所示。



图 3.11 排气问题缺陷



图 3.12 人字形裂纹

3.4 提高塑性成形数值仿真的精度

有限元的核心思想是结构的离散化. 就是将实际结构假想地离散为有限数目的规则单 元组合体,实际结构的物理性能可以通过对离散体进行分析,得出满足 L 程精度的近似结 果来替代对实际结构的分析,这样可以解决很多实际 L 程需要解决而理论分析又无法解决 的复杂问题

运用有限元法数值模拟对锻压成形进行分析,在尽可能少或无须物理实验的情况下,得到成形中的金属流动规律、应力场、应变场等信息,并据此设计成形工艺和模具,成为提高金属成形效率和生产率的行之有效的手段。但有效地利用有限元技术模拟塑性成形得到准确的和工程实际相符合的结果。

1. 塑性有限元中的非线性

由于锻造成形的制件大多属于三维非稳态塑性成形过程,在成形过程中、既存在材料 非线性和几何非线性,同时还存在边界条件非线性,接触边界和摩擦边界也难于描述,变 形机制十分复杂,塑性有限元与线弹性有限元相化也就复杂得多。

1) 材料的非线性

- (1)由于塑性变形区中的应力与应变关系为非线性的、图 3.13 所示为刚塑性材料模型的应力应变关系曲线。为了便于求解非线性问题、必须用适当的方法将问题进行线性化处理;一般采用增量法(或称逐步加载法)、即将物体屈限后所需加的载荷分成若干步施加,在每个加载步的每个迭代计算步中,把问题看作线性的。
- (2) 塑性问题的应力与应变关系不一定是一一对应的; 塑件变形的大小、不仅取决于当时的应力状态,而且还决定于加载历史; 而卸载与加载的路线不同,应变关系也不一样; 图 3.14 所示为弹塑性材料模型的加载和卸载过程应力应变曲线。因此, 在每一加载步计算时, 般都应检查塑性区内各单元是处于加载状态,还是处于卸载状态。



图 3.13 刚塑性应力应变曲线图

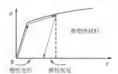


图 3.14 弹塑性材料应力应变关系

2) 摩擦边界条件

在锻造成形过程中,锻件与模具型腔之间的接触摩擦是不可避免的,且两接触体的接触面积、压力分布与摩擦状态随加载时间的变化而变化,即接触与摩擦问题是边界条件高度非线性的复杂问题。目前摩擦问题有限元模拟的理论有:经典干摩擦定律、以切向相对滑移为函数的摩擦理论和类似于弹塑性理论形式的摩擦理论。图 3.15 所示为一团式锻造的有限元模型。

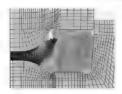


图 3.15 闭式锻造的有限元模型

3) 动态接触边界的处理

金属塑性成形过程为非稳态的大变形成形过程。在有限元模拟过程中,变形体的形状不断变化,它与模具的接触状态也不断变化,形成了几件、模具间的动态接触表面。因此在有限元模拟中每一加载步收敛后,对这些节点的边界条件均需进行相应的修改,即进行动态边界条件处理。

- 2. 提高塑性成形数值仿真精度的途径
- 1) 材料的准确描述

推确描述变形材料是整个有限元数值模拟仿真的基础。比如一般金属材料的性能包括 其弹性(clastic)性能、塑性(plastic)性能、热传导(thermal)性能、扩散(diffusion)性能、 再结晶(grain)性能和加工硬化(hardness)性能等。常用的材料又分为刚性(rigid)材料、弹 性(clastic)材料、弹製性(clastic - plastic)材料、多孔(porous)材料和塑性(Plastic)材料。 从材料的塑性性能多虑。其流动应力规则常用的表达方式主要为

幂指数规则(power law)为

$$\bar{\sigma} = \epsilon \bar{\epsilon}^{q} \hat{\epsilon}^{m} + y$$

表格形式为

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\varepsilon}, \dot{\bar{\varepsilon}}, T)$$

式中: σ 为流动应力; ε 为等效应变; ε 为等效应变率; ϵ 为特对常数;n为应变指数;m为应变率指数;y为起始屈服值。

- 另外, 铝合金和线性硬化材料的塑性流动有另外专门的材料模型。
- 2) 网格划分和边界条件设定
- (1) 网格的划分。对于所有的有限元数值计算分析、都是离散的网络通过节点进行力和能量的传递,因此网格的划分是基础。网格划分的最基本的条件是、材料和模具划分网格以后,应该可以充分体现原来的特征。图 3. 16 和图 3. 17 所示分别为同一材料利用不同参数划分的网格进行成型计算,明显可以看出、图 3. 17 中的结果有限元分析结果更可靠。图 3. 18 和图 3. 19 所示为其热传导后的温度分布、后面分析工艺各节点温度显得更详细也更精确。

从这个意义上来说,为了提高模拟的质量,网格划分是越多越好。但这种模拟质量的 提高是以大幅度降低计算机模拟的运算速度为代价的。一般用户都是针对具体工艺对网格 质量进行控制,对产品变形部位较大的部位进行细化。如图 3,20 所示为精密冲裁分析时 的网格划分,在材料和模具刃口处材料变形最严重,进行了高密度网格划分。





图 3.16 不良网格划分



图 3.17 精确网格划分



图 3.18 不良温度传导分析



图 3.19 精确温度传导分析



图 3.20 精冲分析局部网络细化

(2) 边界条件的设定。摩擦类型和摩擦因数要和实际情况相符合,图 3.21 和图 3.22 为同一种材料不同摩擦条件的成形 厂 乙数值分析的等效应变图,其中当摩擦因 数为 0.1 时, 应变范围为 0.17~1.41, 如图 3.21 所示。摩擦因数为 0.7 时, 应变范 围为 0,0001~1.74,有些地方基本不变形,而且圆环内部形成双鼓现象,如图 3,22 所示。

3) 模拟过程网络调整和重划分

在塑性成形模拟中,经常遇到塑性变形区内材料发生较大应变,有限几网格会产生严 重畸变,致使模拟结果失真或模拟过程终止。另外,工件和模具接触表面的相对速度有时 很大,有时会发生相互嵌入的不正常现象,如图 3,23 所示。为了解决上述问题,计算过 程需要暂时停止,进行网格重划分,如图 3.24 所示,在这种情况下,不可避免会出现体 积的损失,如图 3,25 所示。



图 3.21 0.1 摩擦因数镦环结果



图 3.22 0.7 摩擦因数镦环结果



图 3.23 网格的嵌入



图 3.24 网络重划分



图 3,25 重划分中的体积损失



一、简答题

- (1) 与通用软件模拟仿真相比, 塑性有限元法具有什么不一样的特征?
- (2) 塑性成形中的缺陷都包括哪些?
- (3) 常见的断裂准则包括哪些?

二、思考题

- (1) 如何提高塑性 CAE 软件的分析准确度?
- (2) 如何改进成形工艺和消除缺陷?



第二篇

基本成形



第4章

锻压模拟基本过程



- ★ 了解 DEFORM-3D 锻压分析的基本过程;
- ★ 掌握 DEF()RM-3D 分析建立模型的基本步骤;
- ★ 掌握 DEF()RM-3D 软件的基本过程。



| 知识要点 7 | 能力要求 | 相关知识 |
|-------------------------|--|--------------------------|
| DEFORM - 3D 假压分析 过程 | 了解 DEFORM-3D 像压分析的 基本过程 | 前处理、求解及后处理过程 |
| DEFORM-3D 建立模型的 基本步骤 | 掌握 DEF()RM-3D分析建立模型的各个基本步骤的基本操作。 并掌握其含义 | 问题的建立、物体的设置、模 松的设置及步骤 |
| DEFORM - 3D 的后处理 | 了解液压马达主要性能参数的 计算方法 | 过程显示、变量的显示和曲线 的获得 |



导入案例

锻压是锻造和冲压的合称,是利用锻压机械的锤头、砧块、冲头或通过模具对坯料 施加压力, 他之产生塑性变形, 从而获得所需形状和尺寸的制件的成形加工方法, 锻压 产品从工业产品到家用电器。覆盖面很广。包括螺钉、齿轮等。如图 4.0 所示。



图 4.0 锻压产品

锻件的锻压成形过程是一个非常复杂的弹塑性大变形过程, 既有材料非线性, 又有几 何非线性。再加上复杂的边界接触条件的非线性。这些因素使其变形机理非常复杂。很难 用准确的数学关系式来进行描述,从而导致生产过程中对产品质量控制的难度增大。采用 DEF()RM 软件对大变形生产工序进行模拟分析和控制、能有效对锻件生产进行指导。

本章主要是通过一个基本的锻压模拟案例,让读者了解 DEFORM 塑性成形模拟的基 本过程。

4.1 问题分析

此案例是一个基本的镦粗成形工序,如图 4.1 所示。



图 4.1 锻压基本成形

工艺参数:

几何体和「具采用整体分析

单位, 英制(English)

L件材料(Material): AISI-1045

温度(temperature): 常温(68 F/20℃)

I:模速度: lin/s

模具行程, 2.6in

4.2 建立模型基本步骤

建立模型主要在前处理模块进行, 前处理是有限元分析的主要步骤, 它所占用的操作 时间占到用户操作时间的80%, 有很多定义都是在前处理阶段进行的。为了大家在学习的 过程便于记忆, 将 DEFORM - 3D 分析过程主要分为 1 个主要部分; 建立问题、前处理、 概拟计算、后处理。

建立问题主要是创建一个需要分析问题的名称、类型以及存放位置。

前处理主要包括 2 个部分: 物体的设置和模拟的设置。按照这种步骤,使整个分析步骤变得简单,便于记忆,免于遗漏而浪费时间。

4.2.1 物体的设置

1. 基本设置

主要针对物体的基本性质,温度,材料等进行设置。

2. 几何输入

在 DEFORM - 3D 中,不能直接建立三维的几何模型,必须通过其他 CAD/CAE 软件 建模后导入到系统中。目前,DEFORM - 3D 的几何模型接口格式有如下几种。

- (1) STL: 几乎所有 CAD 软件都有这个接口,它是通过一系列的三角形拟合曲面而成。
- (2) UNV: SDRC 公司(现合并到 EDS 公司)软件 IDEAS 的三维实体造型及有限元网格文件格式, DEFORM 接受其划分的网格。
 - (3) PDA; MSC 公司的软件 Patran 的「维实体造型及有限元网格文件格式。
 - (1) AMG, 使用 DEF()RM 存储已经导入的几何实体模型的文件格式。

3. 网格划分

在 DEFORM 3D 中,如果用其自身带的网格剖分程序,只能划分四面体单元、这主要是为了考虑网格重划分时的方便和快捷。但是它也接收外部程序所生成的六面体(砖块)网格。网格划分可以控制网格的密度,使网格的数量进一步减少,有不至于在变形剧烈的



部位产生严重的网格畸变。

4、运动设置

工具的运动方式主要有两种; 直线运动和旋转。另外软件集成有成形设备模型, 如; 液压压力机、锤锻机、螺旋压力机、机械压力机等。

5. 边界条件

主要设置对称边界、热传导面以及其他边界条件。

6. 性能设置

主要用来设置体积补偿、材料硬化、断裂等性能。

7. 高级设置

物体设置的流程如图 4.2 所示。

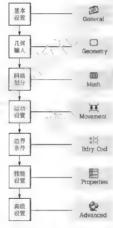


图 4.2 物体设置流程

◇提示:不是每个物体的每项都要设置。比如一般情况下,只有上模才需要设置运动(movement)。

4.2.2 模拟设置

模拟设置主要是设置模拟的参数、定义材料、对物体进行位置调整、接触关系等、主要包括以下几方面。

1. 模拟控制

这里定义的参数, 主要是为了进行有效的数值模拟。因为成形分析是一个连续的过程, 分许多时间步来计算, 所以需要用户定义一些基本的参数,

- (1) 总步数:决定了模拟的总时间和行程;
- (2) 步长,有两种选择,可以用时间或每步的行程;
- (3) 主动模具: 选择物体的编号:
- (4) 存储步长: 决定每多少步存一次, 不要太密, 否则文件太大。

2. 材料定义

在 DEFORM-3D中,用户可以根据分析的需要,输入材料的弹性、塑性、热物理性能数据,如果需要分析热处理工艺,还可以输入材料的每一种相的相关数据以及硬化、扩散等数据。

为了更方便用户模拟塑性成形下艺,该软件提供了100余种材料(包括碳钢、合金钢、 销合金、钛合金、铜合金等)的塑性性能数据,以及多种材料模型。每一种材料的数据都可以与温度等变量相差。

3. 位置关系

这里有两层含义,一是可以移动、旋转物体,改变他们的最初位置,因为存DEFORM-3D的前处理中不能造型,所以这一项功能特别重要,可以将输入到DEFORM-3D中的毛坯、模具几何模型进行调整。二是为了更快地将模具和坯料接触,需要使他们发生干涉,有一个初步的接触量,这样计算上可以节省时间。

4. 关系定义

主要定义摩擦接触的关系、摩擦因数、摩擦方式等。

5. 检查生成

主要让软件检查用户设置的前处理有没有原则性错误,能不能生成计算所需的 DB 文件。

模拟设置的流程如图 4.3 所示。

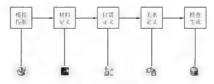


图 4.3 機拟设置流程

- ◇提示:不是每个物体的每項都需要设置,也不是每个模拟设置都需要设置。
- ◇ 提示: 有时为了设置的方便, 并不是完全按照以上顺序。

下面通过 个实例来了解 DEFORM 3D 软件分析前处理操作的基本过程。

4.3 建立模型

4.3.1 创建一个新的问题

(1) DEFORM 3D 的打开: 选择开始菜单 → 程序 DEFORM 3D V6.1 → DEFORM-3D。进入 DEFORM-3D 的丰窗口,如图 4.4 所示。

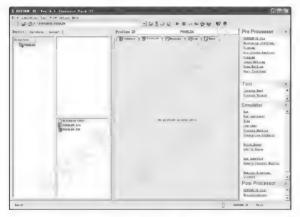


图 4.4 DEFORM - 3D 的主窗口

此窗口左边为目录窗口。中间为信息显示窗口。界面右边分别为前处理(Pre Processor)、工具(Tool)、模拟(Simulator)和后处理(Post Processor)的人口。其中前处理又包括一般前处理(DEFORM 3D Pre)、切削加工(Machining)、成形分析(Forming)、模具应力分析(Die Stress Analysis)、开坯(Cogging)、型乳(Shape Rolling)、环乳(Ring Rolling)和热处理(Heat Treatment)。其中一般前处理功能最为强大。是最一般的前处理模块。可以代替其他模块。其他前处理人口只是针对某一专业研究范畴进行的打包式操作,就是计用户跟着软件进行流程式操作。便于操作的同时,解决问题的范制受限、交互性不强。本书主要讲授一般性前处理进行各类加工工艺的分析。模拟模块主要用来对模拟过程进行启动、控制和停止,通过后处理人口可以进入后处理进行模拟结果的评价。

(2) 选择 File ≯New Problem 命令或在主窗口左上角单击 □按钮、弹出图 4.5 所示的界面。

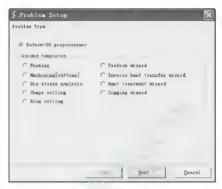


图 4.5 分析问题类型



图 4.6 问题位置

- (4)接下来在弹出的界面中使用默认选项(第1个选项),然后单击 1881() 接钮。
- (5) 在下一个界面中输入问题名称(Problem name) block, 如图 4.7 所示, 单击型动物 按钮, 就讲人前处理模块, 如图 4.8 所示。

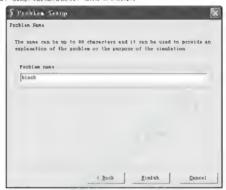


图 4.7 问题名称



图 4.8 前处理

除了一般 Windows 程序的标题样、菜单栏和工具栏之外, 前处理操作窗口还有图形显示区、物体树区以及物体资料区。

图形显示区:该区用于展示几何图形和网格以及工艺分析状况。

物体树区, 把分析工艺所包含的还料和模具名称显示出来。

物体资料输入区:用于设置物体的对应属性。包括基本信息、几何体输入、网格划分, 材料分配, 边界条件的分配等。

4.3.2 设置模拟控制

- (1) 单击测控钥进入模拟控制参数设置对话框。
- (2) 在 Simulation Title 一栏中把标题改为 block。
- (3) 设置 Units 为 English, Mode 只选中 DEFORMation 复选框,如图 4.9 所示。
- (4) 单击 OK 按钮, 返回到前处理操作窗口。



图 4.9 模拟控制

4.3.3 设置还料基本属性

对于那些非刚性材料和考虑传热影响的刚体(rigid)材料,必须按需要设置材料的属性。

(1) 单击 些 按钮,物体名称默认 Workpiece 不变,物体类型(()bject Type)采用默认的塑件体(Plastic)。

- (2) 温度默认为常温 68 F(华氏)不改变。
- (3) 在前处理控制窗口中,单击 <u>0</u> 按钮,选择材料库中的 Steel → AISI 1045, COLD [70F(20C)],如图 4.10 所示,单击 <u>1604</u> 按钮。设置完以后的基本属性界面如图 4.11 所示。

4 3.4 导入毛环几何文件

(1) 在前处理的物体操作窗口中单击。 按钮, 然后再单击 😅 按钮, 在弹出的对话框中选择在 CAD 中或其他 CAE 软件中的造型文件。



图 4.10 材料洗取

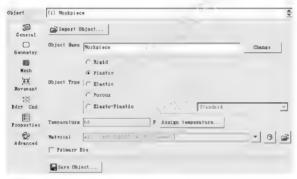


图 4.11 基本属性界面

本例中选择安装目录下 DEFORM3D\V6 _ 1\Labs 的 Block _ Billet. STL 文件导入。导人以后的界面图形如图 4.12 所示。

- ◇提示:在DEF()RM=3D中、每一个物体已经取好相应的文件名,坯料为Workpiece,模具分别为Top Die和Bottom Die,并将坯料分配为塑性体(Plastic),模具分配为刚性体(Rigid)。这里跌认第1个物体是坯料(Workpiece)所以物体属性聚认为塑性体(Plastic)。
- (2)单击 Gact 800 按钮. 对导人的几何体进行几何检查. 只有质量符合的图形才能划分网格并计算,结果如图 4.13 所示,几何质量合格。
- ◇提示:零件检查从第3项开始保证是10000、表明物体面的数目为1、面上的几种 缺陷数目都为0。

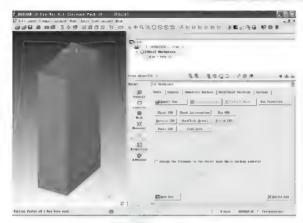


图 4.12 导入的几何



图 4.13 几何检查

4.3.5 划分网格

对于那些非刚性材料和考虑传热影响的刚体(rigid)材料,需要划分有限元网格。

- (1) 单击 显 按钮进入网格划分窗口。
- (2) 可以在网络数量输入框中输入单元数或用滑动条来设定。在本例中,默认为8000。



- ◇ 提示: 网格的预览只是对物体质量合格的表面生成网格,如果要计算必须对其进行网格的生成。
- (4) 视图观察操作。利用工具栏窗口中的快捷按钮可以方便地进行各种视图观察操作、下面仅举几个例子、用户可以将鼠标指针放置在每个按钮上、自动会出现提示。
 - ① 动态缩放 Q 。
 - ② 窗口缩放 3.
 - ③ 移动中。
 - ④ 自由旋转 ○、沿 X 轴旋转 ◎、沿 Y 轴旋转 ⑤、沿 Z 轴旋转 ⑤。
 - ⑤ 视角选择。 等轴视图 号, XY 平面视图 E, XZ 平面视图 E, YZ 平面视图 E,
 - (5) 点和面的选取。常用工具如下:
- ① 点或面的选取工具。单击工具栏上的 ¾ 按钮,在显示窗口可以选择物体的任意节点或面。
- ② 标尺下具。单击下具栏上的 中接钮、单击物体上的任意一个节点、并按住鼠标不放、再选择另一个节点、然后松开鼠标。连接这两点的一条线段和该线段的长度值就会显示在显示窗口中,直到用户单击 Refresh 按钮刷新。

4.3.6 导入上模文件

(1) 下面要导入上下模具的几何文件。在前处理控制窗口中单击增加物体 @ 按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Top Die 的物体。

- (2) 基本属性设置保持默认。
- (3) 在当前选择默认 Top Die 物体的情况下,直接单击 , 按钮, 然后单击 \$100011 600 按钮。
- (4) 在弹出的对话框中,选择安装目录下 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 Block Top Die, STL 文件,导入以后,软件界面如图 4.15 所示。

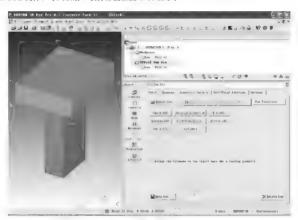


图 4.15 异入上槽

4.3.7 设置上模运动参数

- (1) 首先在物体列表中选中物体 Top Die。在預处理的控制窗口中单击 些 按钮,进入物体运动参数设置窗口。
 - (2) 在运动控制窗口中,设置参数 Direction 为-Z. Speed 为 1,如图 4.16 所示。
- ◇提示:运动参数只设置在主动零件,对此分析工艺为锻造,主动零件为上模,因此运动设置在上模。

4.3.8 导入下模文件

- (1) 下面要导人上下模具的几何文件。在前处理控制窗口中单击 CL 按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Bottom Die 的物体。
 - (2) 基本属性设置保持默认。
- (3) 在当前选择默认 Bottom Die 物体的情况下,直接单击 🚨 按钮,然后单击 😂 Lecont teo / 按钮。
- (主) 在弹出的对话框中,选择安装目录下 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 Block Bot tomDie. STL 文件,导人以后,软件界面如图 4.17 所示。

| Speed | (Hamner | C Kechanical pre- | ss C Sliding die | |
|------------------------|----------------------|-------------------|------------------|------|
| Force | C Screw press | C Hydraulic pres | 2 | |
| Direction | | | | |
| | | | | |
| CX CX | CZ COther 0 | 0 | -1 | |
| | C Z Current stroke 8 | 0 | 0 | _ in |
| | ○ Z Current stroke | | | in |
| C-IC-I | ○ Z Current stroke | | | in |
| Frecification | ○ Z Current stroke | 0 | | in |
| Specification Defined | ○ Z Current stroke | 0 | 0 | in |

图 4.16 上模速度

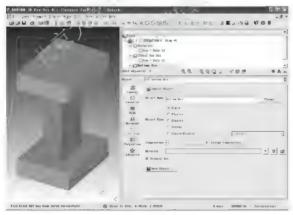


图 4.17 导入下模

4.3.9 设置模拟参数

- (1) 在前处理控制窗口的右上角单击 参按钮、弹出 Simulation Controls 对话框。
- (2) 单击左侧圆响按钮,进行模拟北数和北长的设定。
- (3) 设置模拟步数(Number of Simulation Steps)为 20, 除非模拟意外终止, 否则程序 将运行至 20 步。设置存储增量(Step Increment to Save)为 2, 这里的意思是每 2 步保存一次,这是避免每步都保存,造成数据文件过大。
- (4) 在下面设置 With Constant DieDisplacement 为 0.13、每步进行 0.13m 的计算、界面如图 4.18 所示。

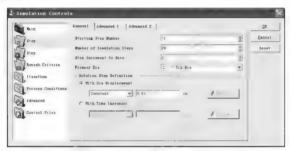


图 4.18 權拟步数和步长设定

- (5) 单击 및 | 按钮关闭该对话框。
- ◇ 提示: 每步的长度是根据变形体单元长度的13左右乘估算的。一般取值都在最小单元长度1/3~110. 比較容易收敛而且又不会浪費时间。总运动距离为步数乘以步长。

4.3.10 改动物体的空间位置

在 DEFORM 中, 虽然不可以直接进行几何造型, 但是可以通过旋转(rotation)、平移(translation) 修改物体的空间位置。单击 点 按钮, 就可以在弹出 (blycet Positioning 对 话框中进行相关操作, 这样, 物体的位置在建模过程就比较正确, 不涉及改变物体的空间 位置, 在这里不再赘述, 在后面的例子中会详细解释。

4.3.11 定义接触关系

- (1) 作前处理控制窗口的右上角单击 @ 按钮、弹出对话框如图 4.19 所示, 然后单击 20 | 按钮、弹出 Inter Object 对话框、如图 4.20 所示。
- (2) 定义物体间从属关系:系统会自动将上模和坯料的物体定义为从属关系(Slave Master)。
 - (3) 单击 deat. 按钮, 进入新的对话框。
 - (4) 洗择前切摩擦方式 Shear, 输入常摩擦系数 Constant, 如果你对具体的摩擦因数



图 4.19 关系询问



图 4.20 接触关系设置

没有概念,可以选择 I. 艺种类,例如, 本例中的冷锻 Cold forming 用的是 steel dies, 摩擦 因数系统会设为 0.12,如图 4.21 所示,单击 超極 按钮,关闭对话框。



图 4.21 摩擦因数设置

- (5) 回到 Inter Object 对话框后选择第2组。
- (6) 重复 3 4 的操作,将 Bottom Die 和 Workpiece 的摩擦因数也设为 0.12,单击 giens |按钮,关闭对话框。
- (7) 单击 [manata at] 按钮生成接触关系。生成接触关系以后,模型会有所变化,显示节点的接触状态,如图 4,22 所示。



图 4.22 接触关系

- ◆ 提示: 切记在单击 smanter 接钮前。确定被定义的物体组之间并没有接触关系、只是定义了它们之间一旦接触后的摩擦因数。真正定义接触必须在这个操作后单击按钮。 互相接触的物体,Mater 会自动与 Slave 发生干房,互相嵌入这是为了更快地进入接触状态,节省计算时间,互相嵌入的深度,是由窗口中的 Tolerance 来定义的。
 - ◇ 提示:接触关系中,一般软的物体设为 Slave, 硬的物体设为 Master。

4.3.12 检查生成数据库文件

- (1) 在前处理控制窗口单击 € 按钮。
- - (3) 不理会提示的黄色信息,单击 GBBARTE 按钮生成模拟所需 DB 文件,然后单击 CBBR 按钮返问到前外理控制窗口.
 - (4) 存前处理窗口单击■按钮, 退出前处理。进入到上窗口。
- ◇ 说明:有限元分析引擎把模拟计算的结果写在数据库文件中,该文件需在前处理环节产生,此时一些模拟信息(如材料属性、运动控制参数等)会被写入该文件。
- ◇提示:出现黄灯不见得一定有问题,此案例第1个黄灯为体积补偿没有设,可以不管它,具体消除方法在后面案例中会讲。
- ◇提示:在前处理窗口可以单击■按钮对前处理 KEY 文件进行存储,生成 DB 文件以后也带有前处理文件信息,如果没有保存 KEY 文件也没有生成 DB 文件退出前处理,前面所做工作不会保存。



图 4.23 DB 检查生成

4.4 模拟和后处理

如图 1.24 所示,在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Smulator 中的 Num 选项开始模拟,在模拟过程中始终有一个 Running 提示。如果你想知道模拟的进程可以选择 Simulation 中的Process Monitor 选项查看模拟进度,模拟结束、提示 NORMAL STOP: The assigned steps have been completed。



50

在 DEFORM 3D 系统窗口中选择 DEFORM-3D Post 选项,进入后处理窗口,如图 4.25 所示,可以看到后处理包括下面几部分;

- (1) 图形显示窗口:
- (2) 步数选择和动画播放;
- (3) 图形显示选择窗口;
- (4) 图形显示控制窗口:
- (5) 要显示的变量的选择。

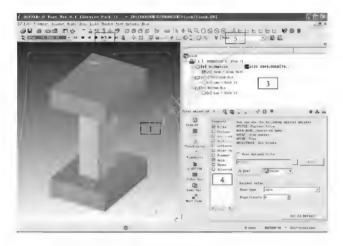


图 4.25 后处理

1. 变形过程显示

在后处理窗口中,单击▶ 按钮、观察模具运动和工件的成形过程。如果你觉得变形体不能清楚地显示,可以单击回按钮、线框显示,如图 4.26 所示;如果你觉得模具的线框也不想要的话,可以在物体列表中,在模具名称上右击,在弹出的快捷菜单中选择Turn Off命令,或者选中 Workpiece 选项,单击 ● 按钮,让坯料单独显示。

2. 查看状态变量

在后处理控制窗口中单击 State Variables 的下拉列表框,可以选择常用的变量进行显示,如图 4.27 所示。如果需要更多的变量,则单击 等按钮,选择界面如图 4.28

所示。

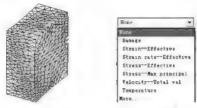


图 4,26 线框显示

图 4.27 变量选择



图 4.28 多变量选择

3. 春春载荷-行程曲线

塑性成形工艺的有限元模拟一个重要的作用就是可以计算载荷随着行程的变化趋势和数值,DEFORM 在这方面也不例外,可以在后处理中单击 ■ 按钮,在弹出的 Graph (Lode Stroke)对话框中,选择 Top Die 和 Z 方向,如图 4.29 所示。单击 □ □ 按钮,就会弹出一个新的对话框,显示载荷 行程曲线,如图 4.30 所示。

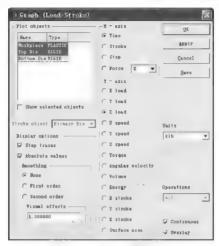


图 4.29 载荷-行程设置

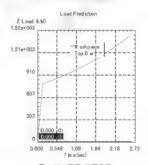


图 4.30 载荷-行程曲线

- 4. 退出 DEFORM 3D
- (1) 在后处理控制窗口中,单击■按钮退出后处理窗口;
- (2) 在 DEFORM 3D 系统窗口中,单击 按钮退出 DEFORM 3D。



DEFORM 在锻造中的应用

铜合金把手采用压力机锻造成形,始锻温度 550°(, 锻造前将模具预热至 200°(,以避免坯料和模具接触时温度发生突变,提高最终锻件质量,下面具体分析把手的模拟 过程。

(1) 几何模型的建立。

几何模型是为了实现与进行数值模拟相关的变形体和刚体的几何造型。为了进一步 网络别分的方使和避免奇异点的产生、通常对模型进行适当的简化处理。现存的数值计算软件其造型功能都很有限,所以、对复杂对象的几何建模多借助于一些专门的 CAD 软件,这里用的是 Pro/E。然后、通过另存为 STL 格式,实现模型和数值模拟软件间的数据转换。

(2) 网格的划分与重划分。

网格划分太大,则模拟特度降低;网格划分太小,模拟准确性上升,但是模拟时间增加,效率降低。所以选择一个合适的网格划分方式和网格划分大小至关重要。从图 4.31 中可以看出该把手变形体网格划分的数目为 8000 个、最小边界尺寸为 4.2 cm。



图 4.31 网络划分的具体数值

(3) 材料模型的建立。

由于研究的是铜合金的能造模拟,接照正常生产环境的情形,变形体的材料选为 CuZn37。从图 4.32 中可以看出此材料适用于600~800℃下锻造,应变速率为 0.3~10。 锻造时,由于模具是刚性的,不参与变形和传热,所以模具不用划分网格,并由 3 部分组成,上冲头、型腔、推杆,分布位置如图 4.33 所示。

(4) 其他参数设置。

在整个模拟过程中。设定总参数为100. 每10 步保存一次。当变形体的网格尺寸为最小边界长度的三分之一时停止,即为1.27cm; 上冲头下降的速度为20cm s. 下降高度为48cm; 图4.31 中的 TopDie 代表上冲头、moju 代表成型的型腔、tugan 代表项出变形体的推杆。从图4.34 中可以看出系统默认了该变形体与模具有3个接触关系,因摩擦基型属于干热摩擦。故其摩擦系数为0.7,此数据是软件自带的。

上冲头

形形

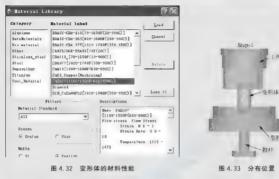




图 4.34 接触关系及麻擦系数

(5) 模拟锻造过程。

锻造的实际生产过程是非常快的,但是用 DEF()RM 软件可以提取任何时间段的变 形状况,图 1.35 中,分别为开始时刻、第60步和最后时刻锻件的变形程度。随着上冲 头的下降, 铜棒在压力作用下逐渐成形, 形成与襟腔形状尺寸一样的锻件,

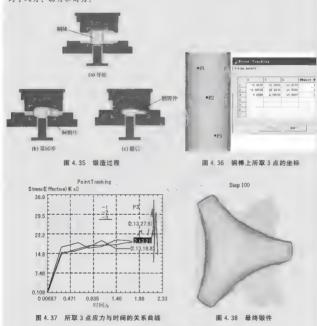
为了能更好地了解变形情况,在铜棒上选取了3个不同的点--P1、P2、P3,如 图 4.36 所示。利用 DEF()RM 软件得出了这 3 点在任一时间下的应力参数曲线如 图 4.37 所示,从曲线中可以分析得出,整个钢棒在一开始的短暂变形中可以说是 3 点 的应力基本一致,随后出现了波动;在变形后期,先是中间部位的应力比较集中,紧接 着就是下部的应力较大。图中的数值是在 2.13s 时, 第 80 步对应的应力值, 其中 1Ksi 0.0069MPa。故 P1 处所对应的应力值为 0.13MPa。 P2 处所对应的应力值为 0.145MPa。 P3 处所对应的应力值为 0.19MPa。

(6) 模拟后处理。

经过提交数据。运行后得到了最终锻件形状及其充型情况。如图 1.38 所示。在生产 过程中下料的多少直接决定了最后锻件的飞边有无与多少。根据 Pro E设计的零件毛坯重 量与模且型腔的尺寸,可以得出所需棒料的直径与长度,倘若下的料质量不足,将会出现 充型不完全。得不到完整的零件: 若下的料质量过大,零件的飞边就会很大,其至由于过



多的料不能在短时间内沿飞边处散开而将模具胀开,不能完全闭合,从而使得零件尺寸 发生变化。因此有适当的飞边才能保证零件的质量。图 4,38 中是第 100 步的锻件,其 周围形状不规则的就是飞边。从大小来看。所选取的棒料是合适的。由此可见。运用 DEF()RM软件模拟不仅能检测模具设计的合理性,而且还能得到合适的棒料尺寸,节 约了人力、物力和财力。



■ 资料来源:田甜,张诗昌.DEFORM在锻造中的应用.冶金设备,2009,5(10)



一、填空题

(1) 图标 = 用来定义物体的

| | 锻压 | 模拟 | 基本 | 过程 | 第 | 4章。 |
|--|----|----|----|----|---|-----|
|--|----|----|----|----|---|-----|

| (2) 图标 😃 用来定义物体的 | • | |
|------------------|---------------|--------|
| (3) 图标 👢 用来定义物体的 | ø | |
| (4) 图标 温 用来定义物体的 | ė | |
| (5) 图标 #用来定义分析 | , 图标 紅 用来定义分析 | ,图标 响用 |
| ウツ分析 | | |

二、简答题

- (1) 模拟设置包括几个工序?每个工序是什么?
- (2) 常见锻造 [序包含几个物体? 每个物体需要设置的内容都是哪些?
- (3) 材料的性能都包含哪些方面?

第5章

方形环镦粗分析



- ★ 了解方形环镦粗仿真过程的设置,掌握对称成形分析的简化设置;
- ★ 掌握对称物体简化后对称边界条件的设置;
- ★ 掌握物体的定位和物体间的自动靠模;
- ★ 掌握物体间摩擦关系的定义。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|-----------|------------------------|----------------------------|
| 对称零件的仿真简化 | 了解方形环锁租仿真过程的设 置及简化 | 简化的优缺点、对称面的设置 及简化原理 |
| 对称设置 | 掌握塑性成形分析对称面的设置技术 | 对称面的添加、删除及编辑 |
| 物体的定位 | 掌握物体的移动技巧 | 物体的平移、旋转和自动靠柱 技术 |
| 物体的接触关系 | 掌握常见摩擦理论、数值的设置及摩擦关系的生成 | 库仑摩擦和剪切摩擦,不同点 形工艺的摩擦力取值 |

导入案例

徽祖是指用压力使拯料高度减小而直径(或横向尺寸)增大的变形方法。它是塑性成 形加工中最基本的变形方式之一,如图 5.0 所示。徽相中假件内部的变形很不均匀,且 在某些条件下心部存在柱应力,这对于大银件芯部缺陷的焊合极为不利。由于影响大银 作质量的因素很多,如站型、坯料初始高径比、压下量、压机速位、银件材料、热处理 规范等,所以在实际生产中。就存在如何确定最低银造工艺参数组合的问题。



〒5.0 嫩和工艺

关于假造工艺参数优化的研究起步于 20 世纪 80 年代末期、以往多采用试错法、即通过各种工艺条件进行测试、计算和比较分析、优选出比较合理的工艺方案、但计算和试验量大、而且不易得到最佳的工艺参数组合。国外的学者致力于特别塑性有限元法与优化理论相结合。通过在优化计算中合理地进行有限元分析、得到最佳的工艺方案。优化中窝计算应力、位移等参数,则黏塑性有限元法被公认为分析假造工艺过程的最佳方法。

本章主要是通过一个方形环的镦粗过程, 让读者掌握网格的详细划分, 对称边界条件 的设置, 定位和自动草模功能的使用。

5.1 分析问题

图 5.1 所示为零件坯料,图 5.2 所示为其简化模型,模具为平板。



图 5.1 零件坯料



图 5.2 简化模型

工艺参数(几何体和工具采用 1/16 来分析)如下。 单位: 英制(English) 材料(Material) - AISI 1045

温度(temperature): 常温(68下/20℃)

|· 模速度: 1in/s

模具行程, 0.6in

- ◇提示:在模拟过程中,在可能用到对称的地方尽可能地利用它。这么做不但能节省计算的时间而且能增加解决准确性。对此立方环模型的端部几何模型的1/16进行变形分析,非结果可以代表环的整体变形情况。
- ◇ 提示:模拟的对称性模拟的主要原理就是因为在对称面受到的两边的力是完全对称的。面上节点只可能在对称面上运动。判断的标准是镜像或者多次镜像能够将模型制作出来。另外需要注意的是在坯料对称的同时。上下模具也同时存在相应对称关系才能对对称简化模型进行计算。
 - ◇ 提示: 对称模拟的同时否定了失稳现象的产生。

5.2 建立模型

5.2.1 创建一个新的问题

- (1) DEFORM 3D 软件的打开,选择开始菜单 → 程序 → DEFORM 3D V6.1 → DEFORM 3D。进入 DEFORM 3D 的主窗口,如图 4.4 所示。
 - (2) 在主窗口左上角单击 图 按钮、创建新问题、
- (3) 在弹出的问题类型(Problem Type)界面中默认进入普通前处理(DEFORM 3D preprocessor), 单击 <u>Imate</u>按钮。
 - (4) 在弹出的问题位置界面中使用默认选项(第一个选项),然后单击 🚾 按钮。
- (5) 在下一个界面中输入问题名称(Problem name)SquareRing、如图 5.3 所示。单击 Mana 按钮、就进入前处理模块。



图 5.3 问题名称

522 设置怀料

- (1) 单击 . 查 按钮,物体名称默认 Workpiece 不变,物体类型(Object Type)采用默认的塑性体(Plastic)。温度默认为常温 68 下(华氏)不改变,单击 [®] 按钮,选择材料库中的 Steel →AISI-1045,COLD 「TOF(20C)」,如图 5.4 所示,单击 Lind 按钮加载。
- (2) 此时默认选中 Workpiece 物体(只有一个物体), 单击 。 按钮来定义坯料的几何体。然后单击 @ Baset to 按钮, 在弹出的对话框中选择安装日录下 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 SquareRing Billet, STL 文件导入。





图 5.4 材料洗取

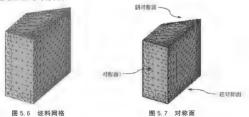
图 5.5 几何法向

5.2.3 坯料网格划分

在 Objects 窗口中, 选中物体 Workpiece, 单击 உ 按钮进入网格划分窗口, 采用默认为 8000 网络数量。单击 tamente tata 按钮来生成网格, 单击 ● 按钮只显示物体 Workpiece, 网络如图 5.6 所示。单击 秦 按钮显示所有物体。

5.2.4 设置边界条件

选中物体 Workpiece, 单击 , 按钮, 选中。 按钮, 选中题标, 选中图 5.7 所示的对称面 1. 单击 _ 按钮, 增加(1, 0, 0) 对称面。分别选择斜对称面和底对称面,并单击 _ 按钮增加相应对称面。



当3个对称面都被添加好后,边界条件区域看起来如图5.8所示。



图 5.8 对称而设置

5.2.5 F模设置

(1) 单击 粤 按钮,增加物体 Top Die。此时物体树会默认选中物体 Top Die。单击 整钮、物体类型(Object Type)采用默认的刚性体(Rigid)。

(2) 此时模型树选中 Top Die 选项,单亩。2。按钮、然后单击 @boot so __按钮、在弹曲的对话模中选择安装目录下 DEFORM3D\V6_1\Labs 的 SquareRing_TopDie, STL 文件导入。

(3) 单击 按钮, 然后定义在 Z 轴上的速度为 lin/s, 如图 5,9 所示。



图 5.9 运动设置

◇ 提示: 此立方环因为采用 1/16. 锻件对称关系已经满足,因此下模是不需要的。

5 2 6 设置模拟控制

(1) 单击砂按钮来打开模拟控制界面。修改模拟名称(Simulation Title)为 Square Ring,如图 5.10 所示。



图 5.10 模拟控制

(2) 单击> 按钮、设置模拟步数(Number of Simulation Steps)为30、设置存储增量 (Step Increment to Save)为2、定义基本模具(Primary Die)为Top Die、设置With Die Displacement的Constant为0.02、如图5~11所示。



图 5.11 模拟步骤

为了设定适当的步骤大小,可以用四 图标测量坯料的一个元素较少的边界长度。短边缘的平均长度大约是 0.06。因此在小的边缘长度中的 1/3 为 0.02in/step(Constant Dre Dis

placement), 单击 @ 按钮关闭模拟控制对话框。

◇ 提示: 可以通过单击 □ 按钮来保存前处理文件。

527 位置关系确定



图 5.12 模拟步骤

◇ 提示:在自动干涉下、参考物体为不动的参考体、定位物体是需要改变位置的物体、在一Z方向下,就是将定位物体从参考物体上向一Z方向移动,当两个物体的距离达到干涉值0,0001时,达到要求。

◇ 提示: 对本案例、物体位置已经正确。上述操作物体位置不发生变化。

5.2.8 接触关系设置

- (1) 在前处理控制窗口的右上角单击 粤 按钮、 在弹出的对话框中单击 ______ 按钮、 弹出 Inter Object 对话框。
- - (3) 单击 Emanuta all 按钮生成接触关系。生成后单击______按钮,关闭对话框。

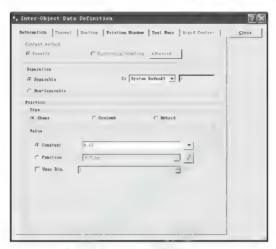


图 5.13 摩擦因数设置

5.2.9 检查生成数据库文件

◇ 提示: 检查后会出现 ? , 提示是体积补偿没有激活, 这里可以忽略此提示。

5.3 模拟和后处理

- (1) 在 DEF()RM 3D 的主窗口中, 洗择 Simulator 中的Run 洗项开始模拟。
- (2) 模拟完成后,选择DEFORM-3D Post选项。此时默认选中物体 Workpiece,单击●按钮,图形区将只显示 Workpiece 一个图形。在 step 窗口选择最后一步,如图 5.14 所示。
- (3) 单击型按钮、弹出图 5.15 所示的对话框、逐步单击对称面、最后获得完整物体、如图 5.16 所示。



图 5.14 成形结果

- (4) 退出 DEFORM-3D。操作步骤如下:
- ① 在后处理控制窗口,中单击■按钮退出后处理窗口:
- ② 在 DEFORM 3D 系统窗口中,单击 # 按钮退出 DEFORM 3D。



图 5.15 定义对称面



图 5.16 完整结果



由于在工件与工具接触面间存在着摩擦、它阻碍金属流动、从而使得成形所需的压力增加及导致不均匀的变形、数使在工件外表面由于存在很大的附加拉应力,可能产生裂纹。在接触表面附近内部区域由于变形很小、远存在较为粗大的原始铸态组织、严重影响了银件的质量。在高温下镦粗时,因受到温度的影响,这种现象将会更加明显。因此,为了提高银件质量和变形量、应在自由锁粗过程中尽量减小鼓形、提高镦粗变形的均匀性,这对于难重形材料和大银件的锁粗尤为重要。

1) 提高均匀性的工艺方法

鐵粗时产生变形不均匀的原图:①工具与坯料接触面的摩擦影响;②与工具接触的部分金属由于温度降低快、σ. 较高。因此应当改善和消除引起变形不均的因素或采取合适的变形方法。除了使用润滑剂和预热工具外、在生产实践中还创造了各种工艺方法。

(1) 传统方法。

① 側凹毛坯橄粗法。 橄粗低塑性材料的大型锻件时, 橄粗前将 坯料侧面压成凹形[图 5.17(a)],这样可以消除做机产生的技形, 防止纵向开裂。②软金属垫法。在工具和 5.17(a)],这样可以消除做机产生的技形, 防止纵向开裂。②软金属垫法。在工具和 5.17(b)],变形金属不直接受到工具的作用。由于软垫的变形抗力较低, 放先变形并拉着 5.17(b)],变形绘为力增大, 历处时 5.17(c)],靠袋环的 2.20 是腹重地 4.10 侧面内凹消失,呈现圆柱形。再继续做抽时,最后获得程度不太大的鼓形。③套环内银粗法。在 5.17(c)],靠套环的 2.20 经向压力来减小由于变形不均匀而引起的附加拉应力, 餓粗后将外套去掉,这种方法主要用于镦粗低塑性的高合金钢。①叠锻法,叠锁法 [图 5.17(d)] 主要用于扁平的圆盘 假件,得 2 件叠起来锁粗,形成鼓形。然后各自翻转再次叠加在一起锁粗来消除鼓形。叠嵌 7.20 化分离 5.17(d) 5.17(d)

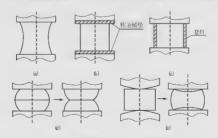


图 5.17 各种提高变形均匀性的工艺方法

(2) 扭压复合加载成形。

担压复合成形工艺是在工件高度方向施加压力的同时,使模具相对工件产生扭转运动(图 5.18), 将被动擎擦转化成为促进金属流动的主动摩擦的一种新型工艺。担压复合成形能从根本上解决运用微粗时的产品质量缺陷。担压复合成形中通过主动摩擦力给工作施加了扭矩的作用,迫使工件产生了高度方向的压缩变形和横截面上的剪切变形、以消除粮租成形中摩擦的有害作用,促进了金属的流动。

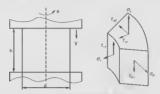


图 5.18 扭压复合加载示策图

扭压复合加载锁粗相比传统方法有其明显的优势。侧凹毛坯锁粗法需要首先对坯料进行侧凹成形,而径向侧凹成形工艺实施起来比较困难,很难保证径向侧凹的一致性,而且绣面附近晶粒粗大的缺陷仍然存在,软金属垫镦粗和套环内镦粗法需要耗费额外材料,而且不可能完全消除鼓籽,运料叠锁对成形高经比较大的坯料因易发生失稳而受到限制,同时、叠锁时要求坯料严格对中、使实际工艺操作极为不便。而且侧凹毛坯镦粗法、叠镀法以及先压凹端面再取平板镦粗都要求至少两道工序。

2) 模拟与分析

(1) 建模与模拟。

这里采用三维有限元模拟软件 DEFORM23D 模拟 A12017 在室温下的成形过程。模具和毛坯通过 Pro E建立实物模型,使用 STL 格式导入 DEFORM—3D. 模型如图 5.19 所示。设定模具为刚性,自动约令毛坯单元网格。毛坯材料为 A12017、高度 H 为 80mm,直径 d 为 80mm。变形后高度减小 40mm。上模为主动模、垂直的下压速度 v 为 2mm/~,设定上模向下运动 40mm(即 208)后停止、转动角速度 u 分别取 0 与 10°~以即 0.1745rad。8)输入。



图 5.19 模拟模型图

1.0%

前者表示普通鐵租,后者表示扭压复合加載鐵租。设定摩擦条件为剪切摩擦,摩擦系数为 0.3。 (2) 模拟结果与分析。

模拟结束后,在DEF()RM 3D的后处理器中获取模拟结果。对于鼓形的产生,见表5-1, 扭压复合加载可明显减小鼓形的产生。

| 成形方法 | 最终尺寸/mm | | dms * dmin scrop 50 |
|------|-----------------------|-----------|--|
| | 最小直径 d _{min} | 最大直径 dmex | $-\frac{d_{\max} \cdot d_{\min}}{d_{\min}} \times 100\%$ |
| 普通镦粗 | 133. 5 | 143. 5 | 7.5% |
| 扭压复合 | | | |

141.0

139.5

加载镦粗

表 5-1 最终成形尺寸比较

图 5.20 所示为两种成形方法所需载荷的对比、扭压复合加载可明显减小镦粗载荷、平均减小为 $8\%\sim12\%$ (图中 a0、a10 分别表示角速度为 0 和 10° s)。图 5.21 所示为两种成形方法在最后一步时等效应力对比图、扭压复合加载应力分布平均、特别是在难变形区和侧面鼓形处尤为明显。这样使得变形均匀。

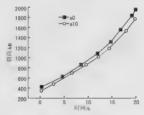


图 5.20 载荷对比图

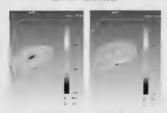


图 5.21 等效应力对比图

▼ 资料来源:杨春.提高自由徽相成形质量的工艺方法与有限元模拟、 铸造技术、2008(1)。





一、填空题

- (2) 图标型Symmetry plane用来定义物体的

二、简答题

- (1) 常见的 DEF()RM 3D 可以导入的几何文件类型包括哪些?
- (2) 公制和英制常见工艺参数的差异是什么?
- (3) 塑性成形工艺物体的常见运动包含哪些?
- (4) 如何减少模拟运算的时间,并获得合理的结果?

第6章

道钉成形分析



- ★ 了解道钉成形仿真过程的设置,掌握热成形分析的设置步骤;
- ★ 掌握热分析的边界条件的设置;
- ★ 掌握多工序成形分析的设置步骤。



本章教学要点

| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 | |
|----------|----------------------------------|------------------------------------|--|
| 热成形分析技术 | 掌握热传递分析的基本步骤,掌 握热传递和成形分析之间的耦合 | 热交换面的设置, DB 文件的 打开及编辑, 热分析结果的显示 | |
| 热边界条件的设置 | 掌握塑性成形分析对称面的设置技术 | 对称面的添加、删除及编辑 | |
| 分析的多工序 | 掌握工序之间的衔接技术 | 应变的保留、温度的梯度及对 塑性的影响 | |



导入案例

道钉就是铁路等使用的螺钉、如图 6.0 所示,是从国外传过来的一种先进的交通安全产品。道钉的一种英文名字叫,Raised pavement marker 这是美式英语的一种叫法,愿意是突起路标。道钉的另一个英文名字是:road stud,这是英国英语或欧洲的一种叫法,意思是路上的钉子,以形容其带钉的形状。我们国家选用的遗钉英文单词是美国的Raised pavement marker,



图 6.0 道钉类产品

本章主要是通过道钉的成形过程,让读者掌握热传导的分析和热成形分析。本案例重 点掌握以下内容;热传导分析的边界条件设置,多工序过程分析技术。此零件的成形工艺 分析,需要很多工序,本章需要掌握的内容只讲解其中3个工序。

6.1 分析问题

图 6.1 所示为取完对称面的简化模型(1 4) · 图 6.2 所示为简化有限元模型(含模具)。



图 6.1 简化模型



图 6.2 有限元模型

此案例是一个热锻成形工艺。

E. 史参数:

几何体和工具采用 1/4 来分析

单位, 英制(English)

坯料材料(Material): AISI-1025

模具材料(Material), AISI-H-13

坏料温度(temperature): 2000°F

模具温度(temperature): 300°F

1· 模速度, 2in/s

模具行程, 0,75in

对于这个热成形工艺讲行数值仿真,要分3个工序讲行分析。

- (1)模拟10s内坯料从炉子到模具的热传递。这是从炉子里拿出来进行锻造之前,「 件和空气之间进行的热交换。
 - (2) 对坏料停留于下模的 2s 时间进行模拟。这个过程也是一个热传递的模拟、
 - (3) 进行热传递和锻造工艺共同进行的耦合分析过程。
- ◇ 提示: 溫度的变化对后面的塑性产生影响,一般情况下,金属的塑性随温度的降低而降低。
- ◇提示:实际工作中工人师傅将工件放到工作台、到开始变形需要一定的时间,此时还料与下模接触的部分温度变化更快。
- ◇提示:这里将针对轴对称体的塑性成形问题进行1 1 建模。零件是轴对称的,也可以进行2-D模拟,这里主要是想通过这个案例来阐述3-D模拟中的一些主要概念。

6.2 热传导工序分析

6.2.1 创建一个新的问题

选择开始。程序。DEFORM-3D V6.1。DEFORM-3D 命令、进入 DEFORM-3D 的主窗口。单击 为按钮新建问题、任弹出界面中直接单击 Matt, 按钮、在接下来的弹出的界面中单击 Matt, 按钮、在接下来的弹出的界面中单击 Matt, 按钮、在下一个界面中输入问题名称(Problem name)Spike、如图 6.3 所示,单击 Mattala 接钮,就进入前处理模块。

6.2.2 设置模拟控制

- (1) 在前处理控制窗口中单击。按钮、在弹出的 Simulation Controls 对话框中、把模拟锈题(Simulation Title)改为 Spike Forging、工序名称(Operation Name)改为 Transfer from Furnace、Mode 选项区域中取消选中 Deformation 复选框、选中 Heat Transfer 复选框、Operation Number 设为 1, 进行热传递的模拟、如图 6.4 所示。
- (2) 单击颤响按钮, 设置如下参数; Number of Simulation Steps 为 50. Step Increment to Save 为 10, 分析用时间控制, Constant 数值为 0.2, 如图 6.5 所示。



图 6.3 问题名称



图 6.4 模拟控制



图 6.5 步骤设置

6.2.3 定义毛坯的温度及材料

- (1) 此时默认选中物体 Workpiece, 单击 🍮 按钮, 物体类型(Object Type)采用默认的塑性体(Plastic)。
 - (2) 单击 ATRIA 1886年12日 按钮,在弹出的对话框中输入 2000,如图 6.6 所示,单击 位置 按钮,关闭对话框。



图 6.6 温度对话框

(3) 单击 ® 按钮,选择材料库中的 Steel→AISI - 1025 [1800 - 2200F(1000 - 1200C)],如图 6.7 所示,单击 1884 |按钮加载。

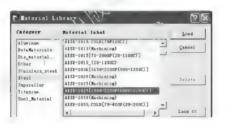


图 6.7 材料设置

6.2.4 几何体导入

- (1) 单击 control 按钮, 然后单击 collection 数组, 在弹出的读取文件对话框中找到Spike Billet. STL(DEFORM3D\V6 1\Labs)并加载此文件。
- (2) 在 Objects 窗口中单击 数钮、在物体的列表中增加了一个名为 Top Die 的物体、并单击 如 数钮、然后单击 如 数钮、 在弹出的对话框中导入 Spike Top Diel. STL (DEFORM3D\V6.1\Labs)文件。
- (3) 单击 4 按钮、增加 · 个名为 Bottom Die 的刚性物体、单击 colle 按钮导入 Spike_BottomDie, STL 文件。导入的几何体如图 6.8 所示。



图 6.8 导入几何体

6.2.5 坏料网格划分

选中物体 Workpiece、单击 ● 按钮、使其处于单、物体模式、然后单击 ... 按钮进入网格划分窗口;选择 Detailed Settings 的 General 选项卡·将类型(Type)改为绝对的(Absolute)、尺寸比(Size Ratio)改为 3、单元尺寸(Element Size)改为最小单元尺寸(Min Element Size)0,04、如图 6.9 所示。此时单击 Suzae Mata 按钮生成表面网格、单击 2014 Mata 按钮生成实体网格、如图 6.10 所示。







图 6.10 坯料网格

6.2.6 定义热边界条件

这是一个1/4 对称体的一部分、所以在分析中、要通过边界条件的定义体现出来、因此要分析热问题、定义一热边界条件即可。因为所有的边界条件都是加载到节点和单元 上,这一步操作必须是对已经到分网格的物体才能操作。

(1) 在物体树中选中物体 Workpiece、单击 "" 按钮、弹出对话框、在 BCC Type 下选择 Thermal 类中的 Heat Exchange with Environment 选项, 如图 6.11 所示。在单击下面的 西西西西 按钮, 在弹出的对话框中, 设置环境温度为 68下(默认), 如图 6.12 所示。设置完成后单击 四 |按钮、关闭此对话框。



图 6 11 热交换洗顶



图 6.12 热交换环境

- ◇提示:单击侧(Simulation Controls)按钮后,也可以进行图 6.12 所示对话框的设置,只是此处只有 Process Conditions 选项被激活,其他选项灰显。
- - ◇ 提示:除对称面以外的物体面都是热交换面。
- ◇ 提示: 在选择上述3个面的过程中,你不可能在一个视角内将3个面都找到,必须要在不问视角之间切换,可以利用旋转图标◎和选择图标;取合完成。前者通过旋转角

度, 寻找边界面, 后者保证能够用鼠标选择。也可以通过中键旋转, 直接选择。



图 6.13 选择工具



图 6.14 热交换面

6.2.7 检查生成数据库文件



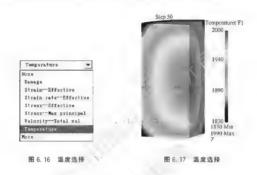
图 6.15 DB 检查

◇提示: 对此工序不需要定义接触关系,因为模具实际上还没起作用,如果不考虑后面工序的话,此案例实际上不需要增加上模和下模。

6.2.8 模拟和后处理

在 DEFORM 3D 的主窗口中, 洗择 Simulator 中的Run 洗项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORK-3D Post选项。此时默认选中物体 Workpiece,单击 ● 按钮, 图形区将只显示 Workpiece · 个图形。在 step 窗口选择最后 · 步(50), 在变量下拉列表框 中选择温度(Temperature)如图 6.16 所示,物体温度显示如图 6.17 所示。



6.3 坯料与下模热传导工序

6.3.1 打开前处理文件

- (1) 在主窗口中找到前面分析获得的数据文件 Spike, DB, 选中后选择 DEFORM-3D Pre 选项然后在弹出的对话框中选择第50步,如图 6.18 所示,单击 <u>**</u>按钮进入前处理。 读时可以看到 Temperature [1822~1989],是目前温度的实际范围。
- ◇提示: 对于一个已经进行计算过的数据文件,在前处理打开时,会提示输入哪个时间步,如果是在原来的基础上接着计算,可以选择最后一步,如果计算问题想重新进行前处理,选择第一步。如有其他用途,选择某中的任何一个时间步。

导人后的物体如图 6.19 所示。

- ◇ 提示,图形显示可能略有不同。可以通过切换显示改变。
- (2) 单击 ♣ 按钮、然后单击 ♣ 按钮、选择 Thermal 选项卡、界面如图 6.20 所示、单击 Node Temperature 后面的 按钮、查看此时节点温度、结果如图 6.21 所示。







图 6.19 导入后的物体

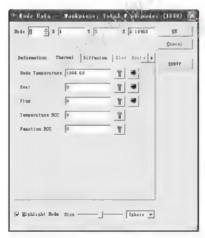


图 6.20 节点资料





图 6.21 节点温度

6.3.2 定义上模

- (1) 选中物体 Top Die. 单击 🍮 按钮,物体类型(Object Type)保持默认的刚性体(Rigid)。单击 <u>man 按钮</u>按钮,在弹出的对话框中输入 300,单击 <u>a</u> 按钮,关闭对话框。
- (2) 在前处理控制窗口中, 单击 9 按钮, 选择材料库中的 Die material *AISI H 13, 如图 6.22 所示。单击 4044 | 按钮加载。
 - (3) 单击 🍮 按钮, 在默认的情况下, 单击 60000210 Mesa 按钮。
- (4) 单击 按钮、弹出对话框、在 BCC Type 下选择 Thermal 类中的 Heat Exchange with Environment 选项、然后选择除对称面之外的所有面、如图 6.23 所示、单击 按钮。





图 6,22 材料加载

图 6.23 上模热交换面

◇提示:有时网格生成以后,系统会出现边界条件的提示,判断需要加载热交换面,如图 6,24 所示,可以单击 ™ |按钮让系统自动加载。此时上面(4)可以不做。



图 6.24 边界提示

◇提示:网格划分以后,可以单击■2m Xmit 按钮将网格保存,将来利用 ②Decort Xmit 按钮导入后可另做它用。

6.3.3 定义下模

- (1) 选中物体 Bottom Die、单击 உ 按钮、物体类型(Object Type)保持默认的刚性体(Rigid)。单击 [mine temperature] 按钮、在弹出的对话框中输入 300、单击 _ at __按钮、关闭对话框。
- (2) 在前处理控制窗口中,单击三按钮、单击定义过的 AISI-18-13[1450-1658F(800-1000C)] 加袋。
 - (3) 单击 📇 按钮, 在默认的情况下, 单击 fenerate Kath 按钮。
- (4) 单占 按钮, 弹出对话框, 在 BCC Type 下选择 Thermal 类中的 Heat Exchange with Environment 选项, 选择除对称面之外的所有面, 如图 6.25 所示, 单击
 - 每 按钮。完成以后的网格模型如图 6.26 所示。



6.3.4 调整工件位置

前面定义了毛坯和模具的接触关系,但在几何上还没有实现,所以必须通过 Object Positioning 功能将它们接触上。这主要是为了节省时间,将模具与毛坯接触的 过程省略。

在前处理控制窗口的有上角单击 a: 按钮、在弹出的对话框中、方法(Method)选择自动下涉(Interference)。需要定位的物体(Positioning Object)选择 Workpiece、参考物体(Reference)选择 Bottom Die、定位方向(Approach direction)选择 Z、干涉值(Interference)采用默认的 0.0001、如图 6.27 所示。然后单击 ________按钮应用、再单击 _______按钮 按钮 、关闭对话框、坯料将从上往下靠拢下模、如图 6.28 所示。







图 6.27 自动干涉对话框

图 6.28 定位后的问题

- 令 提示: -Z 向的自动靠模就好比,参考物体放在那里不动,移动的物体往下(-Z 方向)放到参考物体上面,推荐大家永远都用-Z 方向。
 - ◇ 提示:做自动靠模时, 坯料必须已经划分了网格。
 - ◇ 提示: 此时上模还没接触坯料, 所以不作移动。

6.3.5 定义接触关系

(1) 在前处理控制窗口的右上角单击。按钮,在弹出的对话框中单击______按钮, 弹出 Inter - Object 对话框,如图 6.29 所示。



图 6.29 关系定义

(2) 选中第 2 个关系 Bottom Die (1) Workpiece、单击 # tau 按钮、弹出定义对话框、单击 **_按钮、在弹出的下拉菜单中选择 Free resting 选项、热交换系数会自动给定 0.0003。如图 6.30 所示、单击 Lines | 按钮、关闭该对话框。



图 6.30 热交换系数

- (3) 单击 Generate all 按钮生成接触关系。
- ◇ 提示: 此时上模和坯料还未接触、保持热传递系数 不变, 删掉此接触关系对结果也没影响,但是后面工序还需要加入,这里保留。

6.3.6 设置模拟控制

(1) 在前处理控制窗口中单击 砂接钮, 在弹出的 Simulation Controls 对话框中、把 Operation Name 改为 Dwell, Operation Number 改为 2。如图 6.31 所示。



图 6.31 模拟控制

(2) 单击> 按钮, Number of Simulation Steps 设为 10, Step Increment to Save 设为 5, 每步时间为 0.2s, 如图 6.32 所示。

6.3.7 检查生成数据库文件

选择 File *Save 命令存無、保存 KEY 文件、单击@按钮、在弹出的对话作中单击 Chart |按钮检查、出现提示? Beat transfer coefficient between objects 1 and 2 is ZEEO. 如图 6.33

所示,不理会它,单击 Generate 按钮生成 DB 文件,然后单击 Class 按钮返回。单击●进入到主窗口。



图 6.32 步数设置



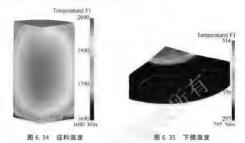
图 6.33 DB 检查

6.3.8 模拟和后处理

在 DEFORM 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟。



模拟完成后,在 DEFORM 3D 的主窗口中选择DEFORM-3D Post 选项进入后处理。选择 Variable 为 Temperature,为了清晰起见,单击 ●按钮,以单独显示一个物体的方式,分别选中物体 Workpiece 和 Bottom Die,观察在不同时间步的温度分布。最后一步坏料的温度如图 6.34 所示,下模的温度如图 6.35 所示。



6.4 热锻成形工序

6.4.1 打开原来的数据文件

在主窗口中,选中 Spike. DB 文件、然后选择 DEFORM - 3D Pre 选项,在弹出的对话框中,选择 60 步,如图 6.36 所示.单击 □ 按钥进入前处理。



图 6.36 步骤洗择

6.4.2 改变模拟控制参数

(1) 在前处理的模拟控制参数设置对话框中,将 Operation Name 改为 Forging,将 Deformation 和 Heat Transfer 复选框同时选中,如图 6.37 所示。



图 6.37 模拟控制

(2) 单击窗[∞]按钮、设置 Number of Simulation Steps 为 30、Step Increment to Save 为 5、每步长为 0.025in、如图 6.38 所示。单击 <u>α</u>按钮关闭模拟参数设置对话框。



图 6.38 步数选择

6.4.3 设置坯料边界条件

当模拟控制中 Deformation 没有被激活时,对称边界不能设置,下面将进行设置。



图 6.39 对称面设置

6.4.4 添加体积补偿参数

此时选中物体 Workpiece, 单点 "是是,在 Deformation 选项卡的目标体积(Target Volume)选项区域中选中 G Active 10 FEM + aeshing 单选按钮, 如图 6.10 所示。意思是说,在 计算过程和重划分网格的时候都要考虑网格的目标体积。然后单击直按钮,弹出对话框如图 6.11 所示,单击; 100 按钮,目标体积会自动复制到体积输入。





Target Volume

图 6.40 体积补偿

图 6.41 目标体积

◆提示: 此设置可消除 DB 检查时?Volume compensation has not been activated for object 1的责色问号。

6.4.5 上模对称及运动设置

(1) 选中物体 Top Die, 单击。 按钮, 选择 Smattie Surfee。 选项卡, 然后分别选中上模的对称面, 并单击 ••• 按钮。设置完成后设置区如图 6.42 所示。



图 6.42 上模对称面

- ◇提示: 剛性体的对称面在几何体单击。□n按钮,然后在 symmatric Surface |选项卡中进行设置,而不是像塑性体在边界条件单击。 按钮和 □symmetry plane 图标后进行设置。
 - (2) 单击 三 按钮。定义在 Z 轴上的速度为 2in/s, 如图 6.43 所示。

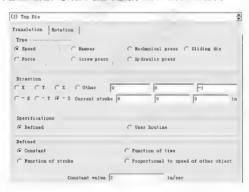


图 6.43 上模速度

6.4.6 下模对称设置

选中物体 Bottom Die,单击 🔤 按钮,选择 Symmetric Surface 选项卡,然后分别选中下模的对称面,并单击 🌬 按钮完成设置。

6.4.7 定位上模

在前处理控制窗口的右上角单击 is 按钮、在弹出的对话框中、方法(Method)选择自动 干涉(Interference)、需要定位的物体(Postioning object)选择 Top Die、参考物体(Reference)选择 Workpiece、定位方向(Approach direction)选择 Z、下涉值(Interference)采用默认的 0.0001、如图 6.44 所示。然后单击 wast 按钮应用、单击 发 按钮差别对话框、上模将从上往下常提纯料,如图 6.45 所示。

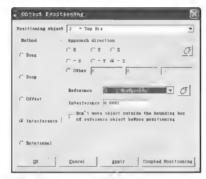


图 6.44 自动干涉



图 6.45 图形显示

6.4.8 设置接触关系

(1) 单击 中按钮、弹出 Inter Object 对话框、选中关系 Top Die Workpiece、单击

pan 按钮, 弹出定义对话框, 此时单击 · 按钮, 在弹出的下拉菜单中选择 Not foreing (Indirected) 0.3 选项, 摩擦因数系统会设为 0.3, 如图 6.46 所示。



图 6.46 摩擦系数定义

(2)选择 TRABERLI 选项卡,单出 <u>**</u>按钮, 在弹出的下拉菜单中选择 FOTELINE 选项, 热传导系数默认为 0,001,如图 6,47 所示。单击 close 按钮,关闭对话框。



图 6.47 热传导系数

- (3) 接触关系对话框如图 6.48 所示,单击 Labo to other relations 按钮将 Top Die Workpiece 之间的关系复制到 Bottom Die -(1) Workpiece。
 - (4) 单击 generate all 按钮生成接触关系。单击 罗 按钮关闭该对话框。

6.4.9 检查生成数据库文件



图 6.48 接触关系



图 6.49 DB 检查

6.4.10 模拟和后处理

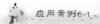
在 DEFORM 3D 的主窗口中, 选择 Simulator 中的Run 选项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORM-3D Post选项。在 step 窗口选择最后一步,在变量对话框中选择温度(Temperature),展示窗口如图 6.50 所示。



图 6.50 模型温度

- ◆提示:这个模拟一共有90 步,其中1~50 步是散热过程,51~60 步是下模传热过程,61~90 步是成形和热交换的耦合过程。
- ◇ 提示: 此零件成形工艺还需终缴成形、具体功能会在下一个案例实现,此案例忽略,保留此案例的最终 DB 文件,后面第8章的模具应力分析和第18章的模具应力分析会 限到



微型螺钉主要用于电子产品的装配,一般采用冷成形加工。主要工艺流程;拔丝→下料→锁组(预成形)→冲槽(最终成形)→拖丝→热处理及表面处理。在头部成形过程中,由于预成形凸模设计不合理、成形接触面的摩擦系数和润滑不良、材料不合格、工艺参数不合理,往往会出现一定的缺陷,如裂致和折叠。

采用有限元软件对塑性成形过程进行仿真,可对头部成形过程特点以及各国素的影响进行研究,并可对上述缺陷进行预测,从而为工艺设计和改进提供指导。这里主要探讨在DEF()RM-3D的环境下螺钉头部成形的仿真,通过仿真分析了螺钉头部典型成形过程的特点。

1) 成形过程分析

螺钉头部成形过程包括两个工步;预成形的镦粗和最终成形的冲槽,如图 6.51 所示。镦粗过程中,根据工件应变应力以及材料流动的情况可以将变形区由下而上分为3个部分,如图 6.51 所示。区域①中材料受到主模料孔的约束,只在长度方向发生弹性变形。弹性变形的回弹会绞螺钉的尺寸发生偏差。区域②中材料发生塑性变形,填充向主模形成。变形受到凸模凹坑的约束,并在接触面上发生摩擦。与通常情况下的镦粗有一定的区别。区域③中材料在料孔的约束下,只在长度方向发生弹性变形,直到进入凸模凹坑处才产生塑性变形。材料在与凸模料孔的接触表面上受到摩擦力作用。

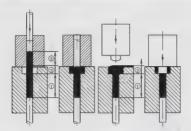


图 6.51 头部成形过程

冲槽过程中变形主要集中在主模形腔中,主模料孔区域的材料变形量较小。整个过程中,反挤压和锁租复合进行,材料与模具的接触表面下断变化,摩擦力的作用、材料中应力应变分布、材料流动情况比较复杂,且受到预成形结果的影响。

2) DEFORM-3D下的建模

理想的報報过程中材料分布均匀,工件和模具的形状、外裁荷、摩擦以及各种边界条件都是轴对称的。因此是典型的轴对称问题。可以将其简化成为二维平面模型。冲槽过程中,工件和模具的形状、外裁荷、摩擦以及各种边界条件也具有一定的周期对称性,模型也可以进行简化,由于是在DEFORM-3ID中建模、撤租的模型也采用3D模型。根据周期对称性将银粗和冲槽的模型都简化为完整模型的1/12。在3D实体速型软件中建立实体模型,生成*.STL文件、导入DEFORM-3D的简处理模块中。所有的实体模型都需要设定几何对称面,这样DEF()RM-3D才能够按照对称问题进行求解、如图6.52所示。

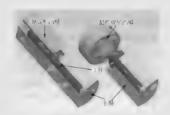


图 6.52 按对称面扩展后的锁粗和冲槽的实体模型

工件材料为合金钢、采用塑性材料模型、忽略了弹性变形及其回弹对形状和尺寸精度的影响。模具和冲棒采用刚体材料模型、不需要划分网格和定义材料。冲棒在成形过程中是首要运动部件(Primary Die),需要根据加工过程中的实际速度设定运动的速度。

DEFORM 3D采用的网格是拉格朗日网格,网络中的节点与材料点重合,边界节点始终保持在边界上,网络模型如图 6.53 所示。

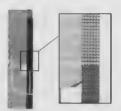


图 6.53 mesh window 及网格

工件网格划分后。需定义网格的几何对称面。才能作为对称问题进行求解。

3) 接触的定义

DEFORM—3D 可根据接触关系的定义自动生成接触。接触关系由 Master 和 Slave 构成、材料硬的、如模具设为 Master、相对较数的、如工件设为 Slave、需要定义接触 关系的摩擦系数、容差、分离准则、模具磨损等。DEFORM—3D提供了两种摩擦类型; 剪切摩擦条件(shear)和库仑摩擦条件(('oulomb)。螺钉成形为冷塑性成形、选用剪切摩 擦条件 0.08。

DEF()RM-3D 处理与时间相关的非线性问题时、将时间离散为多个时间增量、求解每个时间增量上的一系列有限元解。在每个时间增量中,有限元网格上每个节点的速度、温度以及其他主要变量通过边界条件,工件材料的性能以及上一时间增量的解进行造代求解。其他的变量均是由这些主要的变量推导而出。因此,需要在模拟控制中设置总步数和子步长。

4) 仿真线果的分析

利用 flownet 功能,可对平面应变问题和轴对称问题的材料流动状况进行比较好的 观察。徽粗时材料流动情况,如图 6.54 所示。

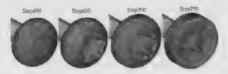


图 6.54 冲槽变形过程

镦粗后塑性等效应变最大值区域住于头部中心较扁平的区域。结合材料流动情况可知,这部分材料受到轴向的压缩和径向的拉伸作用,变形量最大。冲槽后最大塑性等效 应变区域位于槽内表面。 徽租和冲槽的等效应力分布如图 6.35 所示。徽租时螺钉头部外围始终处于受拉状态,内部为受压状态。冲槽时,应力状态变化比较复杂。

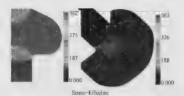


图 6.55 镦粗和冲槽等效应力分布情况

DEF()RM-3D提供了一个对韧性断裂进行预测的参考值——Damage。其數值是Cockcroft-Latham 韧性断裂准则中的"()"。此韧性断裂准则认为最大拉应力是材料破坏的主要因素。整个成形过程中Damage值最大的区域始终位于螺钉头部的侧面、而侧面始终处于较大的拉应力作用下,因此需要预防裂致的产生,如图 6.56 所示。

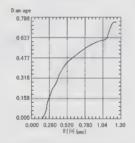


图 6.56 Point1 的 damage 变化情况

DEF()RM 3D提供了对折叠(Folding)的预测功能。在冲槽过程中在槽內壁以及螺钉头的顶面上各有两个区域比较容易出现折叠。槽内折叠的产生是由于冲槽达到一定阶段时,锁粗和反挤压同时进行,导致折叠区域上下部分的材料流向相反,使折叠区域材料被拉向内部,产生折叠。顶部的折叠是由于在冲槽的初期 反挤压阶段,材料被挤出并向径向翘曲,而后期锁粗过程中被压下造成的。均可以通过改进预成形镦粗时的凸模形状束胶止,如图 6.57 所示。

成形过程中、鐵粗时冲棒以及冲槽时上凸模的裁荷可通过 Graph(Load Stroke)功能 进行观察。镦粗阶段,变形过程平稳,材料的流动阻力相对较小、冲棒载荷保持平稳缓 慢上升。冲槽阶段,变形过程比较复杂;初期只发生反挤压作用,与镦粗相比反挤压的



图 6.57 冲槽中可能产生的折叠

变形抗力更大且上升较快;后期反挤压和锁粗同时进行,变形抗力进一步加大同时工件 材料在模具形腔的约束下,快要填满形腔,向角隙填充时,流动阻力上升快速,且随接 触面加大摩擦力也加大,故冲槽时凸模数荷比较复杂,上升速度很快。

> 医 资料来源:周勇,傅蔡 基于 3D 的微型螺钉冷成形过程有限元分析。 机械械设计与制造,2008(3)。



一、填空题

- (1) 图标 ... 8021 \$20,0021 ** ** ** 用来定义物体的
- (2) 图标 tartroament | 用来定义模拟的
- (3) 图标 是用来

二、简答题

- (1) 坯料在热成形的时候都和哪些物体进行交换?
- (2) 进行对称分析的物体哪些面是热交换面?
- (3) 如果热交换面设置错误怎么修改?

三、思考题

- (1) 热成形分析为什么先要进行温度的传递分析。它对分析结果有什么影响。
- (2) 热成形是如果不考虑热传递对分析精度有什么影响?
- (3) 温度和成形的耦合分析和单独分析有什么区别?

第7章

齿轮托架成形分析



- ★ 了解齿轮托架成形仿真过程的设置。掌握热成形分析的完整工序;
- ★ 掌握网格划分的详细设置;
- ★ 掌握设置库的运用;
- ★ 掌握模拟停止条件的设置。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 网格划分技术 | 掌握网格划分的质量控制和细 化技术 | 网格的数量、比率、权重因子 的设置 |
| 设备库的设置 | 掌握 DEFORM-3D 软件中的设备库及运用 | 机械压力机的设置,变形速度 对成形的影响 |
| 分析停止的条件设置 | 掌握准确停止模拟过程的设置 技术 | 运动距离条件,设备能力条件,材料变形条件 |

导入案例

齿轮传动作为动力传动的主体,在 21 世纪的成套机械装备中仍然是重要的基本部件,如图 7.0 所示。它具有恒功率输出、实用可靠、效率高、生产技术成热等优点,因此,在传递动力,尤其是较大动力为主的场合。如大型发电设备、风力发电、大型水泥机械、合成氦设备、轧钢机、轮船、军舰、汽车、坦克、航空航天等领域,仍然具有不可取代的缺位。



图 7.0 齿轮类零件

本章内容在让大家巩固塑性成形分析工艺的同时,进一步掌握一些前面没有提到的内容。通过本章案例的学习,大家会对如何比较准确地分析一个零件成形的整体工艺有一个比较深刻地了解。本章重点掌握,设备库的运用、停止条件的设置、Primary Die 的含义。 热成形零件的多工序成形工艺完整分析过程。

7.1 分析问题

图 7.1 所示为零件的成形 F 艺。图 7.2 所示为其简化模型(取模型的 1 12 即半个齿)。

此案例是一个温锻成形 「 艺。成形一共需要两个成形 「 序, 从仿真的角度应该需要至少 5 个 L序, 下面结合 L序参数排行说明。

工艺参数(工具和坯料都简化为采用几何体的1/12进行分析)如下。

单位: 国际单位制(SI)

坏料材料: DIN C15

坯料尺寸: 直径 31.5mm, 高度 67mm

预热温度: 1230℃

模具温度:80℃

设备: Mechanical Press Forging(机械压力机)

工序 1: 空气传热过程, 是从炉子到压力机的传送过程, 时间为 7s

L序 2: 下模上的停留,时间为 0.7s

□序3, 坯料镦粗 □程,将高度从31.5mm 镦到9.5mm

工序 4: 传送到终锻模过程,时间为 3s

T.序 5: 终锻成形

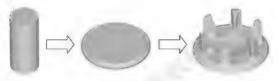


图 7.1 成形工艺

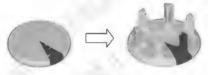


图 7.2 简化模型

7.2 空气传热过程

7.2.1 创建一个新的问题

打开 DEFORM 3D. 单击 数组新建问题, 在弹出界面单击 wet 按钮, 在接下来弹出的对话框中单击 wet 按钮. 在下一个界面中输入问题名称(Problem name) Gear_Carrier, 如图 7.3 所示, 单击 wet 按钮, 就进入前处理模块。

7.2.2 设置模拟控制



图 7.3 问题名称



图 7.4 单位转换



图 7.5 模拟控制



◇提示:单位转换前系统会默认一些值比如环境温度、热传导系数,单位不同需要 重新赋值。

7.2.3 异入几何体

- (1) 在模型科中选中 Workpiece 选项、单击 □. 按钮, 然后单击 ☞ book ** 按钮导 人几何体, 本例中选择安装目录下 DEFORM3D \V6 1\Labs 的 IDS gc billet, STL 文件。
- (2) 单击 € 按钮增加 Top Die, 单击 □ 按钮, 然后单击 ☞ boon two 按钮导人几何体, 本例中选择安装目录下 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 IDS gc upset top. STL 文件.
- (3) 单击 € 按钮增加 Bottom Die, 单击 ♀ 按钮, 然后单击 ☞ I按钮导人 L何体, 本例中选择安装目录下 DEFORM3D\V6_1\Labs 的 IDS_gc_upset_bot. STL 文件。

全部导入以后的模型如图 7.6 所示。

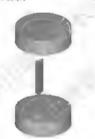


图 7.6 导入以后的模型

7.2.4 定义初始温度



图 7.7 温度设置

(2) 选中物体 Top Die, 单击 உ 按钮, 物体类型(Object Type)采用默认的刚性体(Rigid)。单击 யான (1800年) 按钮, 在弹出的对话框中输入 80, 如图 7.8 所示, 单击 按钮, 关闭对话框。



图 7.8 上模温度设置

7.2.5 分配材料

单击 9 按钮, 选择材料库中的 Steel *DIN - C15 [70 - 2200F(20 - 1200C)], 如图 7.9 所示,单击 lond 按钮加载。



图 7.9 材料设置

7.2.6 定义工件网格

- (1) 在模型树中选中 Workpiece 选项、单击 票 按钮、选择细节设置(Detailed Settings)选项卡中的权重因子(Weighting Factors)选项卡、设置权重因子: Surface Curvature 为 0.900、Temperature Distribution 为 0.000、Strain Distribution 为 0.100 选项卡、Strain Rate Distribution 为 0.100, Mesh Density Windows 为 0.000。设置完成后如图 7.10 所示。
 - ◇ 提示:如果不能准确拖动,接近时可利用左右方向键精确定位。

| Type G System Setup | C User Defined |
|-------------------------|-------------------------------|
| Concrel Weighting Fa | ctors Nexh Window Coating |
| Surface Curvature | 0 |
| Temperature Bistributio | n |
| Strain Distribution | 0. |
| Strain Bate Distributio | n |
| Nesh Density Windows | 0. |

图 7.10 权重因子

| ype System Setup | User Defined |
|---------------------|---------------------------------|
| eneral Weighting | Factors Mesh Window Coating |
| Туре | Number of Elements 8000 |
| C Relative | Size Ratio 1 |
| | Element Size |
| @ Absolute | C Min Element Size 1 19715 mm |
| | ← Max Element Size 1 mm |
| | (■ Max Element Size 1 nm |

图 7.11 网格尺寸



图 7.12 坯料网格

- ◇ 提示: 对于一个精确的模拟, 应当使一个毫米內有 10 个单元的厚度。对于未变形的工件初始网格单元设置为 1mm 足够描述其几何体。坯料划分网格采用绝对网格尺寸、设置最大网格尺寸为 1mm, 尺寸比(最大尺寸比最小尺寸)为 1。这样的设置使单元数量在模拟前较少, 因为几何体也相对简单。
- (3) 尺寸比(Size Ratio)设为 3、最小单元尺寸(Min Element Size)设为 1mm、如图 7.13 所示,但不重新生成新网格。

| System Setup | C User Defined |
|----------------|-------------------------------------|
| eral Waighti | ing Factors Nesh Window Coating |
| Гуре | Number of Elements 25798 |
| Relative | Size Ratio 3 |
| ♠ Absolute | Element Size |
| | (→ Min Element Size 0.33 mm |
| | C Max Element Size i no |
| | |

图 7.13 网格尺寸

◇提示;当几何体尺寸复杂时,网格尺寸比为1就不足以描述几何体了。在模拟过程需要重新划分网格的时候程序就会按照新的设置(尺寸比为3.最小尺寸为0.33mm,最大尺寸为1mm)来重新划分网格,这样允许更清晰地描述坯料的几何变形。

7.2.7 定义工件 Billet 的边界条件

7.2.8 设置上模的运动

預成形是在机械压力作用下完成的、设备总行程是 270mm, 打击速度为 85 次/min (1.4 次/s)。預報打击将是 57.5mm(即 67mm-9.5mm),连杆长度为 1500mm。

选中物体 Top Die, 单击 上 按钮, 选中 Mechanical press 单选按钮, 设置 Total stroke 为 270mm, Forging stroke 为 57.5mm, Stroke sec 为 1.4. Connecting rod length 为 1500mm, 如图 7.14 所示。



图 7.14 运动设置

- ◇ 提示:设备库的使用能够决定变形时的速度,而变形速度对金属的塑性有一定的影响。
- ◇提示:在模拟控制中,如果变形(Deformation)没有被激活,任何运动都不会起作用,物体位置也不会改变。

7.2.9 设置模拟控制的步数

单击 @ 按钮, 弹出模拟控制对话框(Simulation Controls), 单击 圖 "按钮,设置模拟 控制器运行步数为 14 步,每步为 0.5s,每 2 步保存一次,如图 7.15 所示。



图 7.15 步数设置

7.2.10 检查生成数据库文件

在前处理控制窗口单击 @按钮、然后在弹出的对话框中单击 cam 按钮检查、会出现 * 第6 interrobject relations are defined提示,不用理会它。单击 cause 按钮生成模拟所需 DB 文件、然后单击 Goom 按钮返回。单击 # 按钮,进入到主窗口。

7.2.11 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟,模拟完成后,选择 DEFORM-3D Post 选项进入后处理,坏料温度如图 7.16 所示。



图 7.16 坯料温度

7.3 下模传热过程

7.3.1 打开前处理



图 7.17 步骤选择

7.3.2 设置模拟控制

(1) 在前处理控制窗口中单击 曾按钮·在弹出的 Simulation Controls 对话框中、把 Operation Name 改为 Dwell, Operation Number 改为 2, 如图 7.18 所示。



图 7.18 模拟控制

(2) 单击输标接钮, Number of Simulation Steps 设为 7, Step Increment to Save 设为 2, 每步时间为 0.1s, 如图 7.19 所示。



图 7.19 步数设置

7.3.3 定位坏料

单击 b:按钮、存弹出的对话框中、方法(Method)选择自动于涉(Interference)、定位物体(Positioning (Object)选择 Workpiece、参考物体(Reference)选择 Bottom Die、定位方向(Approach direction)选择—Z、干涉值(Interference)采用默认的 0.0001、如图 7.20 所示、单击 18901 按钮应用、单击 1811 按钮定用处理 1911 按钮应用、单击 1811 按钮应用、单击 1811 按钮定用处理 1911 按钮应用、单击 1811 按钮定用处理 1911 将证 1911 和证 1911 将证 1911 并证 1911 的证 1911 并证 1911 的证 1911 的证

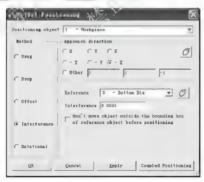


图 7.20 物体定位设置

◇ 提示: 在不关心模具温度的时候, 热传递也可以不划分模具网格和分配材料。

7.3.4 设置接触条件



图 7 21 热心捣彩粉

7.3.5 检查生成数据库文件

在前处理控制窗口单击 @按钮, 在弹出的对话框中单击 Chan 按钮检查, 会出现 字West transfer conflictent between objects 1 and 2 is ZEML提示, 不用理会它。单击 Generate 按钮生成模拟所需 DB 文件, 然后单击 Gloss 按钮返回。单击 #校钮, 进入到主窗口。

7.3.6 模拟和后处理

在 DEFORM-3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟。 模拟完成后,选择 DEFORM-3D Post 选项进入后处理, 坯料温度如图 7.22 所示,



图 7.22 坏料温度

◇ 提示:由于下模没有划分网格和分配材料,不能获得温度值。

7.4 进行镦粗分析

7.4.1 打开前处理

找到前面分析获得的数据文件 Gear Carrier. DB, 选择DEFORM-3D Pxe 选项, 在弹出对 活框中选择第 21 步, 如图 7.23 所示, 单击 《 | 按钮进入前处理。



图 7.23 打开文件

7.4.2 设置模拟控制

(1) 在前处理控制窗口中单击 會按钮, 在弹出的 Simulation Controls 对话框中, 把 Operation Name 改为 Upset, Operation Number 改为 3, 变形(Deformation) 和热传递(Heat Transfer)复选框全部被选中, 设置上模(Top Die) 为主模具(Primary), 如图 7,24 所示。



图 7.24 模拟控制

(2) 单击蜀^{**}按钮、Number of Simulation Steps 设为 120、Step Increment to Save 设为 10、每步距离为 0.5mm、如图 7.25 所示。

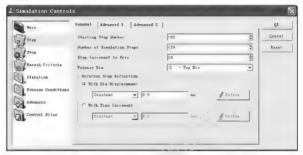


图 7.25 步数设置

◇ 提示: 120 步每步 0.5mm. 计算出来行程应该是 60mm. 由于上楼的运动设置为行程 57.5mm. 所以主模具位移达到 57.5mm 时机械压力机就会走到-270mm 的下止点. 运算将会在停止。

7.4.3 设置坯料对称面

选中工件 Workpiece, 单击 " 按钮, 选中 " 按钮, 选中 "阿里尔斯 图标, 分别选中 坏料的对称 面, 并单击 按钮, 增加(-0, 1, 0)和(-0, 5, -0, 866, -0)对称面。设置完成以后设置区如图 7, 26 所示。

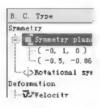


图 7.26 对称面

7.4.4 激活目标体积

(2) 单击 型按钮, 弹出对话框如图 7.28 所示, 单击 IM |按钮。此时目标体积会自动复制到体积输入。





图 7.27 体积补偿

图 7.28 目标体积

7.4.5 定位上模



图 7.29 自动干涉



图 7.30 定位后的物体

7.4.6 检查上模运动设置

选中物体 Top Die, 单击 上 按钮, 确保运动设置如图 7.31 所示。

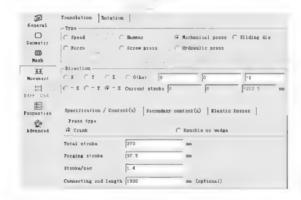


图 7.31 运动设置

7.4.7 回顾接触物体的边界条件

(1) 单击 电按钮, 弹出 Inter ()bject 对话框, 选中唯一的关系 Top Die Workpiece、 单击 如此 按钮, 弹出接触定义对话框, 单击 工按钮, 在弹出的下拉菜单中选择 Hot forging (Rubricated) 0.3 选项,摩擦因数系统会设为 0.3。

(2) 选择 Thermal 选项卡,单击。按钮,在弹出的下拉菜单中选择 Forming 选项,热传导系数自动输入 5,如图 7,32 所示。单击 come 按钮, 关闭对话框。



图 7.32 热传导系数

(3)接触关系对话推如图 7.33 所示、单击 Limit to other criticisms 按钮将 Top Die - Workpiece之间的关系复制到 Bottom Die - Workpiece。



图 7.33 接触关系

(4) 单击 Essents all 按钮生成接触关系。完成后单击 at 按钮,关闭该对话框。

7.4.8 检查生成数据库文件

◇提示: 黄色问号可以在单击。按钮弹出的 Simulation Controls 对话柜中,单击 圖mm 按钮,选择 Loranced 2 选项卡,设置 Nazimum Time Step 值后消除。



图 7.34 检查 DB 文件

7.4.9 模拟和后处理

在 DEFORM-3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟。 模拟完成后,选择DEPORK-3D Post 选项进入后处理。变形后的还料如图 7.35 所示。



图 7.35 预锻物体

7.5 二次转移热传导分析

7.5.1 打开前处理

找到前面分析获得的数据文件 Gear Carrier. DB, 选中后选择 DEBORN-3D Fre 选项、在 弹出的对话框中选择最后一步、如图 7.36 所示、单击 按钮进入前处理。



图 7.36 打开文件

◇提示:在成形的过程会进行网格的重划分,会增加步骤,所以步骤比预计的略有增加。

7.5.2 设置模拟控制

(1) 在前处理控制窗口中单击 砂接钮, 在弹出的 Simulation Controls 对话框中, 把Operation Name 改为 Transfer2, Operation Number 改为 4, 仅热传递(Heat Transfer)复选框被选中, 如图 7,37 所示。



图 7.37 模拟控制

(2) 单击> 按钮, Number of Simulation Steps 设为 6, Step Increment to Save 设为 2, 每步时间为 0.5s。如图 7.38 所示。

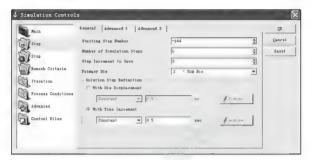


图 7.38 步数设置

7.5.3 模具的移动



图 7.39 模具移动

(2) 单击 記按钮, 在弹出的对话框中, 方法(Method)选择偏执(Offset), 定位的物体(Positioning Object)选择 Bottom Die, 在 Z 向输入 50、如图 7.40 所示, 单击 4000 按钮应用,单击 四 按钮关闭对话框。定位以后模型如图 7.41 所示。

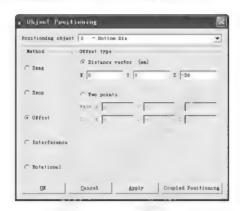


图 7.40 物体定位设置



图 7.41 定位后的模型



- ◇提示: 此工序环境可进行热交换,其实几何体不接触已经没有作用了,物体几何体会在下一工序被终假提几何体代替,这里只是将其移开。
 - ◇ 提示:接触关系虽然可以删除,但是在下一工序还需重新定义,所以这里保留它。

7.5.4 检查生成数据库文件

在前处理控制窗口中,单击 @按钮,然后在弹出的对话框中单击 □ 按钮检查。检查完成后单击 □ 按钮生成 DB 文件,单击 □ 按钮返回,单击 ■ 按钮进入到主窗口。

7.5.5 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 & 选项开始模拟。 模拟完成后,选择 DEPORM-3D Post 选项进入后处理。坏料温度如图 7.42 所示。



7.6 终锻成形

7.6.1 打开前处理

找到前面分析获得的數据文件 Gear Carrier. DB、选中后选择 DEFORM-3D Fre选项、在 弹出对话框中选择最后一步。如图 7.13 所示、单击 按钮进入前处理。

7.6.2 设置模拟控制



图 7.43 步骤选择



图 7.44 模拟控制

7.6.3 异入几何体

- (1) 选中物体 Top die, 单击 按钮, 单击 @boom too ___按钮导人几何体, 本例中选择安装目录下 DEFORM 3D\V6_1\Labs 的 IDS_gc_die, STL。
- - ◇ 提示: 因为一个物体上只能有一个几何体。此几何体会将原来的几何体覆盖。

7.6.4 定位物体

(1) 单击 5.按钮, 在弹出对话框中, 方法(Method)选择自动干涉(Interference), 定位物体(Positioning (Object)选择 Workpiece, 参考物体(Reference)选择 Bottom Die, 定位

方向(Approach direction)选择 Z、F港值(Interference)采用默认的 0.0001。如图 7.45 所示,单击 18007 .按钮应用。

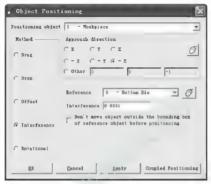


图 7.45 自动接触

(2) 在图 7-45 所示对话框中、方法(Method)选择自动于涉(Interference)、定位的物体(Positioning (Object)选择 Top Die、参考物体(Reference)选择 Workpiece、定位方向(Approach direction)选择—Z、于涉值(Interference)采用默认的 0,0001。如图 7,46 所示、单击 1881 按银应用、单击 2 按银应用、单击 1881 按银应用、单击 1881 按银应用、单击 1881 按银应用、单击 1881 按银应用、单击 1881 按银产团对话框。定位以后模型如图 7,47 所示。

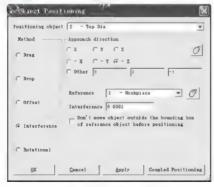


图 7.46 物体定位设置



图 7.47 定位后的模型

7.6.5 设置模具对称面



(1) 选中物体 Top Die、单击 二 按钮,选择 57mmutzu- 3uzfuce 选项卡,分别选中上模的对称面,并单击 •>> 按钮。设置完成设置区如图 7.18 所示。



图 7.48 上模对称面

(2) 选中物体 Bottom Die、单击 😃 按钮、选择 Symmetric Starface 选项卡、分别选中下模的对称面、并单击 🖴 按钮完成设置。

7.6.6 设置模具运动

选中物体 Top Die, 单击 三 按钮, 确保运动设置如图 7.49 所示。

7.6.7 接触条件生成

单击鸣按钮、弹出 Inter (Object 对话框、单击 semente all 按钮生成接触关系。单击 [按钮关闭对话框。

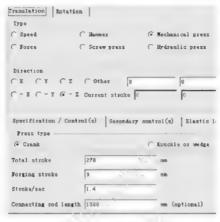


图 7.49 运动设置

◇ 提示: 预锻工序的数据还保留,不需要重新输入。

7.6.8 设置步数及停止条件

(1) 单击 g按钮, 在弹出的对话框中单击窗。按钮, Number of Simulation Steps 设为 200. Step Increment to Save 设为 10. 每步距离为 0.05mm, 如图 7.50 所示。



图 7.50 步数设置

(2) 单击副m按钮, 在 Max Load of Primary Die 的 Z 向输入 le +06, 如图 7.51 所示。



图 7.51 停止条件

◇ 提示: 当上模受力为 1×10⁶N 时模拟停止。

7.6.9 检查生成数据库文件

在前处理控制窗口中,单击 ◎按钮,在弹出的对话框中单击 □ma _按钮检查,然后 单击 □man= |按钮生成 DB 文件,单击 □man |按钮返回,单击●按钮,进入到主窗口。

7.6.10 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的Run 选项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORM-3D Post选项。在 step 窗口选择最后一步,切换显示模式,成形以后的网格如图 7.52 所示。



图 7.52 成形模型



指位齿轮是摩托车传动系统的重要零件,如图 7.53 所示,材料为 20CrMoTi,本产品的成形工艺关键是两端齿爪的精密体积成形。为此我们对产品进行了计算机数值模拟分析,应用目前优秀的体积成形分析软件 DEF(ORM-3D 优化了成形工艺。

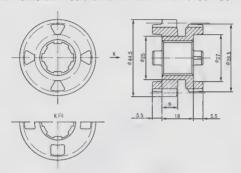
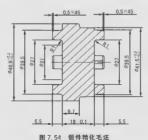


图 7.53 挡位齿轮

1) 三维几何造型及技术处理

通过对产品结构的技术工艺分析、采用闭式温精锻成形工艺、锻件特化毛坯如图 7.54 所示, 两端的 8 个异形齿爪通过温精般直接成形, 不再进行任何机械切削加工。而内控的花键齿和外圆的渐开线齿形通过后续的机械加工得到。在体积成形过程中, 采用刚塑性有限元数值模拟技术, 因为坯料的弹性变形远远小于其塑性变形。



BITTON BELLINGER

三维几何模型如图 7.55 所示。坯料尺寸为 434.5336.2。



图 7.55 几何模型

参数选择如下。 成形温度: 820℃; 成形速度: 16mm/s; 上模最大位移: 100mm; 成形材料: 20CrMnTi。 2) 數值權級及核果合析

要产生折叠缺陷。

零件成形終了时的等效应力如图7.36 所示,等效应力的最大值在零件的飞边处,飞边越高,应力越大,因两阻止了材料的流动,促使金属充满模具型腔,等效应力在零件的齿爪根部圆角处也很大,而且圆角越小,应力越大,同时过小的圆角半径,该处还

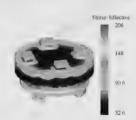


图 7.56 等效应力分布

图 7.57 为成形过程的负载曲线。该曲线大概分为四个阶段;第一阶段、从上模接触坯料开始。到完全接触坯料为止、变形力从 0 迅速上升到 250kN 左右;第二阶段、从上模定全接触坯料开始到圆柱体部分的镦粗成形基本结束为止、变形抗力在较大的行程内基本保持不变、从 250kN 增加到 430kN 左右;第三阶段。凿爪的基本成形和圆柱体的最终成形、行程不大、变形抗力增加很快、从 450kN 增加到 850kN 左右;第四阶段、成形终了阶段、行程小、变形抗力增加很快、从 450kN 退速增加到 220kN 左右,比理论计算值 2500kN 纷低。





图 7.57 负荷曲线

3) 工艺实验研究

根据模拟分析结果, 坯料的尺寸为 431,5336,2,最大变形抗力为 2200kN。在给定的 工艺参数条件下,零件成形没有缺陷产生。为此,我们制作了一副简易成形模具,在 3150kN 液压机上进行工艺实验,其结果与数值模拟相吻合,成形零件如图 7.58 所示。





图 7.58 成形零件

② 资料来源: 夏华. 档位齿轮精锻成形数值模拟与工艺研究. 现代制造工程, 2005(3).



一、填空题

(1) Mechanical press 表示 设备, Connecting rod length 表示设备

(2) 图标 圖 用来定义模拟的

二、思考题

- (1) 在模拟的时候为什么采用设备库? 不同的设备对成形 [艺有什么影响?
- (2) 停止条件的设置在模拟分析中有什么用?

第8章

模具应力分析



- ★ 了解成形工艺模具受力分析的基本过程;
- ★ 掌握物体速度边界条件的设置;
- ★ 掌握物体反作用力的加载;
- ★ 掌握物体预紧力的加载。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 | |
|---------|------------------------|-----------------------|--|
| 模具受力分析 | 掌握模具受力分析的基本步骤 | 模具的类型设置、网格划分及 边界条件 | |
| 物体的速度边界 | 掌握模具受力中的固定设置 | 模具2向的速度取零及编辑 | |
| 物体受力的加裁 | 掌握模具受力成形分析中坯料 的反作用力 | 作用力的提取,容差的设置及 比较 | |
| 模具的预紧力 | 掌握模具间受预应力的设置 | 预紧力方向、大小及加载方法 | |



导入案例

模具寿命的高低是衡量模具质量的重要指标之一。但是随着工业技术的发展、 模具的工作条件日益苛刻。模具的使用寿命严重地影响着工业生产的发展、它不仅 影响产品质量、而且还影响生产率和成本。因而提高模具的使用寿命受到了广泛的 雷超

利用有限元模拟与模具疲劳寿命预测相结合的设计思想,通过采用有限元模拟方法 对模具进行应力场分析,可以获得复杂成形条件下的模具应力应变分布,特别是对局部 应力集中问题,采用局部应力应变法建立模具应力应变寿命估算模型,为成形工艺及模 具优化设计提供了新的途径和方法。

本章内容是进行模具的应力分析, 使读者能够分析模具在坯料和其他支撑零件的作用 F的受力状况。

8.1 分析问题

问题模型如图 8.1 所示,上模受到坯料的反作用力和预应力圈的预紧力,下模受到坯料的反作用力和下模板的作用力,分析上下模所受作用力,也就是道钉成形时模具的受力分析。

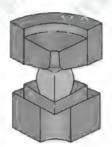


图 8.1 问题模型

工艺参数(模型采用 1/4 来分析)如下。 单位,英制(English) 坯料材料(Material); AISI 1025 模具材料(Material); AISI H 13

8.2 建立模型

8.2.1 新问题的建立

在主窗口单击□按钮,然后在弹出的界面中,保持默认选项,连续单击_max,按钮, 在下一个界面中输入问题名称(Problem name)DieStress(模具应力),如图 8.2 所示,单击 max 按钮,就进入前处理模块。



图 8.2 问题名称

8.2.2 载入数据文件中的计算步骤

8 2 3 设置横拟控制

- (1) 在前处理控制窗口中单击砂按钮、弹出 Simulation Controls 对话柜、修改模拟名称和 L序名称为 Die Stress、操作数为 1、保持英制单位、选中 Deformation(成形)复选框 和取消选中 Heat Transfer(热传递)复选框,如图 8.5 所示。
- (2) 单击窗响按钮,设置开始步骤(Starting Step Number)为 1,模拟步骤数(Number of Simulation Steps)为6,设置存储增量(Step Increment to Save)为1,分析用时间控制,数值为1,如图8.6所示。







图 8.3 步骤选择

图 8.4 导入的模型



图 8.5 模拟控制



图 8.6 步数设置

◇提示:在模拟中添加两个支撑、分别和上下模接触、这样就会产生加工时的相互影响,需要多步模拟零件才能达到平衡状态。

8.2.4 添加附加的工具和删除 Billet

- (1) 单击负两次在物体列表中添加两个附加的物体(Object4 和 Object5)。
- (2) 洗中物体 Workpiece, 使用删除按钮 直接删除即可,
- ◇ 提示: 坯料的反作用力从 DB 文件导入, 因此坯料模型并不需要。
- ◇提示:以上(1)和(2)顺序不能交换,不然会将删除的坯料 Workpiece 物体重新增加讲案。

8.2.5 上模设置

(1) 选中物体 Top Die, 单击 . 按钮, 物体类型(()bject Type)选择为弹性体(Elastic), 如图 8.7 所示。



图 8.7 上植物体类型

- (2) 单击 二 按钮。定义在 Z 轴上的速度为 0 in s. 取消原 DB 文件的运动定义,如图 8.8 所示。
- (3) 单击 选 按钮, 选中 57mmetry planel 网标, 分别选择两个对称面片单击 被钮, 增加对称面(0, -1, 0)和(-1, 0, 0)。
- (1) 选中**设***elocity图标,设置方向为 Z 向,如图 8.9 所示,选择 Top Die 的上表面,如图 8.10 所示,单击 等 按钮增加 Z 向固定。
- ◇提示: 节点 Z 向固定相当于省了一个剛性平板模具(比如工作台板), 该边界条件 是为了防止模具在施加外力的时候飞出。
- ◇ 提示:显示作用在工件和模具上的裁荷。这些力大概不会精确相等,容差会在一定程度上来控制它。施加更高的容差符会在更多的 Billet 面单元节点上插值计算裁荷,提高模具上的插值计算力。只要作用在工件和模具上的力相当接近的时候,插值计算就造近于成功。

| Speed | C Hanner | (Machanio | al press | Slading di- | |
|----------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|------|
| Force | C Screw press | ← Hydrauli | C Dress | | |
| Direction | | | | | |
| CX CX | CZ COther 0 | [0 | | Fi | |
| Y-1 (-1 | G - Z Current stroke 0 | - | 0 | -0.75 | iz |
| Specifications | | | | | |
| @ Defined | ned Seer Boutine | | | | |
| Defined | | | | | |
| @ Constant | | C Function | of time | | |
| C Function of | stroke | (Proportion | nal to spec | ed of other of | ject |
| | Constant walue 0 | . 1 | in/sec | | |

图 8.8 运动设置



图 8.9 速度边界



图 8.10 速度边界选择

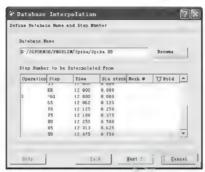


图 8.11 DB 步数选择



图 8.12 上模容差设置



图 8.13 插值力值

(6) 单击回按钮使上模透明、插值的载荷如图 8.14 所示。



图 8.14 上模播值载荷

8.2.6 下模设置

- (1) 选中 Bottom Die, 单击 恶 按钮,物体类型(Object Type)选择为弹性体(Elastic)。
- (2) 单击 ... 按钮、选中 sremetry plana 图标, 分别选择两个对称面并单击 ___ 按钮, 增加对称面(0,-1,0)和(-1,0,0)。
- (3) 下面添加坏料对下模的反作用力,单击" Force 按钮,然后单击 launosite 按钮。找到 Spike, DB 数据文件,并且选择等 90 步,如图 8.15 所示,单击 tent 按钮,如图 8.16 所示,设置 Error Tolerance (误差容限)为 0.1、单击 tent 按钮,出现力的信息,如图 8.17 所示。



图 8.15 步数选择



图 8.16 下模容差设置

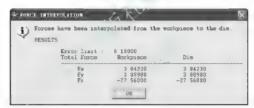


图 8.17 下模插值力值

(4) 单击四按钮使下模透明, 插值的载荷如图 8.18 所示。

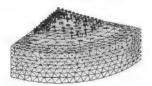
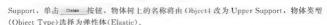


图 8.18 下模插值载荷

8.2.7 上模支撑

(1) 选中物体 Object4, 单占 🍮 按钮, 在 Object Name 处将 Object4 修改为 Upper



- (2) 单击回按钮,单击定义过的 #151-18-13[1450-19500(800-10000)] 加载。
- (3) 单击 🚨 按钮,然后单击 😅 Internation 按钮,在弹出的对话框中选择安装目录 F DEFORM3D\V6_1\Labs 的 UpperSupport, STL 文件导入。
- (4) 单击 票 按钮,选择 Division Settlines 选项卡,选择绝对(Absolute)尺寸设置,最小单元尺寸(Min Element Size)为 0, 15,尺寸比(Size Ratio)为 1,如图 8,19 所示,单击 Sutsea Rual和 Solitama, 控钥划分网格。



图 8.19 网格设置

- (5) 单击 选 按钮,选中 sremetry plane 网标,分别选择两个对称面片单击 数钮,增加对称面(0,-1,0)和(-1,0,0)。
- (6) 选中 **V****elocity 图标, 设置方向为 Z 向, 如图 8. 20 所示。选择 Upper Support(上 模支撑)的上表面如图 8. 20 所示,单击 海 按钥增加 Z 向固定。



图 8.20 速度边界选择

- ◇ 提示: Shrink Fit 为预繁的体积收缩比定义,这里体积收缩为径向收缩,因此需要定义一个轴和一个点。在这个分析中、(0,0,0)点是模具中心, Z 轴是对象的轴线。如果考虑内部对象收缩,其数值应该是负值;而对于外部对象的体积收缩,其值应该是正的。

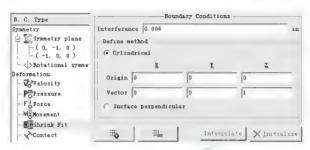


图 8.21 体积收缩设置



图 8.22 体积收缩面



图 8.23 询问对话框

◇提示: 为了更好地观察收缩比的应用,可单击。 於恒,然后单击 the thin 按钮。如图 8.24所示。单击 Displacement(位移)旁边的图标●预览收缩比在 Upper Support 上的应用(让对象 Surface patch 显示)。如图 8.25 所示。

8.2.8 下模支撑

(1) 选中物体 Object5, 单击 三 按钮, 在 Object Name 处将 Object5 修改为 Lower

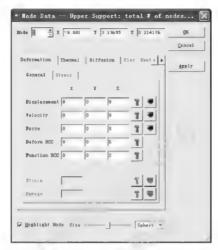


图 8.24 节点资料

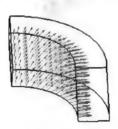


图 8.25 收缩显示

Support. 单击 came 按钮、物体树上的名称将由 (Object 5 改为 Lower Support. 物体类型 (Object Type)选择为弹性体(Elastic)。

- (2) 单击包按钮, 单击定义过的 AISI-W-13[1450-1850F(000-1000C)] 加载。
- (3) 单击 二 按钮, 然后单击 @ 按钮, 在弹出的对话框中选择安装目录下 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 LowerSupport. STL 文件导入。

- (6) 单击记velocity按钮,设置方向为Z向,选择LowerSupport(下模支撑)的下表面如图 8.26 所示,单击 > 按钮增加Z向固定。



图 8.26 速度边界设置

8.2.9 定义接触关系



图 8.27 关系定义



图 8.28 物体关系

8.2.10 检查生成数据库文件

8.3 模拟和后处理

- (1) 在 DEFORM 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的Run选项开始模拟。
- (2) 模拟完成后, 选择DEFORM-3D Post 选项进入后处理窗口。
- (3) 在步数选择下拉列表框中选择 Step6 选项, 当变量选为 Stress Effective 时, 模 具受力如图 8.29 所示。



图 8.29 模具受力

应用条例8-4

精冲模具的失效分析目前还主要停留在对事后的分析和主观判断上,防止模具失效 的主要方法是增大模具的壁厚,采用强度更高、价格更贵的模具材料,这样做虽然能在 一定程度上提高模具寿命,但并没能真正达到降低模具成本的目的。对于模具强度的好 环通常是以模具应力水平作为判据,而一般模具应力是根据理论公式计算得到,或是通 过转化的实验模型(如光弹性模型)的测量获得。前者误差较大;后者测量困难,消耗 大,不利于推广。

在精冲过程中,影响工件和模具应力场的因素很多。这里主要从凹模圆角半径、凸凹模间隙、压边力 反顶力的改变分析工件和模具应力场的变化,并在此基础上,进行模具寿命的估算。

1) 建模

2) 成形过程

首先是V 形齿圈压下的过程,这一过程的目的就是创造坯料的三向压应力的受力条件,待V齿已经全部进入坯料,齿圈将停止下行,并在其上施加一定的压边力。



图 8.30 精冲模具布局

然后,使反顶杆冲模接触工件,冲模下压,反顶杆上顶,分别施加一定的压力。冲模以一定的速度下行,直至坯料完全分离,完成精冲过程。为模拟凸模的应力分布,对凸模进行网格划分,并建立弹塑性的力学模型,如图 8.31 所示。图 8.32 为分离后的坯料金料。



图 8.31 精冲凸模网格划分



图 8.32 坯料分离的余料

3) 凸模应力分析

凸模应力分布如图 8.33 所示。可以看出,凸模存在严重的应力集中,且高应力区主要集中在凸模刃口部位,凸模最大等效应力为1420MPa。



图 8.33 凸模最大等效应力分布

为研究各个工艺参数对凸模最大主应力的影响,对各参数进行了正交试验。图 8.34 所示为凹模圆角半径为 0.13mm,压边力/反顶力为 9000N 1600N 固定不变时,凸模最大等效应力随凸凹模间隙变化的情况。最大等效应力随凸凹模间隙值的变化非常敏感,由图 8.34 中可以看出,当间隙值低于 0.103mm 时,凸模最大等效应力急剧升高。

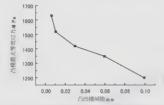


图 8.34 凸模最大等效应力与凸凹模间隙的关系曲线

图 8.35 所示为其他参数固定时, 凸模最大等效应力随凹模圆角半径的变化情况, 由图 8.35 可以看出, 当凹模圆角半径小于 U.13mm 时, 凸模最大等效应力急刷升高。 图 8.36 所示为固定其他参数时, 反顶力对凸模最大等效应力的影响情况, 由图 8.36 可 见, 反顶力对精冲凸模的最大等效应力影响很小。

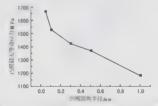


图 8.35 凸模最大等效应力与凹模圆角半径的关系曲线

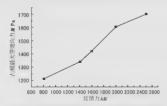


图 8.36 凸模最大等效应力与反顶力的关系曲线

4) 凸模应变分析

图 8.37 为凹模圆角半径为 0.13mm 时, 凸凹模间隙为 0.103mm, 压边力/反顶力 为 9000N/1600N 条件下的凸模压力行程曲线, 可以看出, 在冲模刷下行时, 材料沿着 凹模圆角流动, 故流动应力必然迅速升高; 当大约下行到坯料厚度的 1 3 时, 随着剩余 红料厚度的减少, 冲模压力开始减小, 在整个过程中可以看出, 凸模最大挤压力出现在 行程 1/3 处。

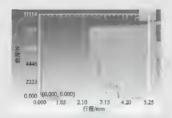


图 8.37 凸模压力行程曲线

图 8.38 所示为相同条件下, 凸模最大等效应力隨凸模行程的变化曲线。可以看出, 在精冲力增大的过程中, 凸模等效应力也随之增大。

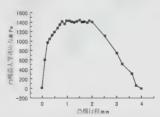


图 8.38 凸模最大等效应力与行程的关系曲线

资料来源:程然.基于有限元分析的精冲凸模寿命估算、 塑性 I 程学报,2010(3).



一、填空题

- (1) 图标记Welocity用来定义物体的
- (2) 图标 taterpolate 用来定义模拟的

- (3) 图标圖Shrink Pi4用来定义物体的
- 二、思考题
- (1) 模拟的预应力圈对模具的受力有什么影响?
- (2) 如何从工艺的角度降低模具受力?
- (3) 为何让模具在一定的方向节点固定? 能否采用其他方法?



第三篇

成形工艺分析实例



第9章

Wizard 的使用



- ★ 了解成形过程中使用 Wizard 的基本设置过程;
- ★ 了解常规设置和利用 Wizard 设置成形分析的优缺点。



| 知识要点 ` 、` | 能力要求 | 相关知识 |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Forming Wizard 分析过程 | 掌握利用 Wizard 分析成形的基本步骤 | 基本设置、物体的设置、关系 的设置 |
| Wizard 分析的特点 | 掌握利用 Wizard 分析成形的 编辑 | 参数和物体的改变。对比普通 分析的优缺点 |



Wizard就是将各种常见成形工艺按照它们的工艺特点,做成流程式的操作、拥有 专用的智能化用户界面、能够帮助用户选择单元形态、分析流程。判断分析结果等,使 用户使用 CAE 软件,就像使用"傻瓜"相机一样,具有一按即得的功效。

本章主要是通过一个基本的锻压模拟案例,让读者了解 DEFORM 3D 利用 Wizard 功能进行塑性成形模拟的基本过程。

9.1 问题分析

本章分析案例和第1章案例相同,这里略,只是让大家了解其基本过程。需要说明的 是,无论是 Forming 还是 Die Stress Analysis 等 Wizard 模块实现的功能, DEFORM - 3D Pre 都可以实现,只是 Wizard 为批处理式的操作,使用更简介,但适应性不如 DEFORM -3D Pre,用户可以根据自己的实际情况选用。

9.2 建立模型

9.2.1 创建一个新的问题

- (1) 在主窗口左上角单击回按钮, 创建新问题。
- (2) 在弹出的问题类型(Problem Type)界面中选中成形(Forming)单选按钮,如图 9.1 所示,单击 wat, 按钮。



图 9.1 问题设置

- (3) 在问题位置界面中使用默认选项(第1个选项), 然后单击 1000 按钮。
- (4) 在下一个界面中默认名称(Problem name)为 F()RMING, 如图 9.2 所示,单击 [按钮,进入前处理模块。



图 9.2 问题名称

9.2.2 基本设置

(1) 在工程(Project) 筒川, 设置默认名称(Title) 为 FORMING, 单位(Unit system) 为 英制(English), 如图 9.3 所示, 单击 [101] 按钮。



图 9.3 模拟名称

- (2) [[上序名称(Operation Name)] 默认为 (Operation 1, 如图 9.4 所示、单击 _ imat >) 按钮。
 - (3) 工艺类型(Process Type)选中 Cold forming 单选按钮,如图 9.5 所示,单占_met> |按钮。



图 9.4 工序名称



图 9.5 工艺类型

(4) 形狀复杂程度和准确度选项默认中等(Moderate), 如图 9.6 所示, 单击 <u>rest</u> 按钮。

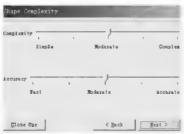


图 9.6 形状复杂度

(5) 在坯料形状窗口选择整体(Whole part), 如图 9.7 所示,单击 wat 按钮。



图 9.7 坯料形状

(6) 在物体数目窗口(Number of ()bjects)选择一个坯料和两个模具。如图 9.8 所示, 单击 mat > 按钮。

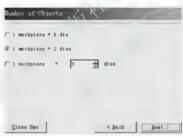


图 9.8 物体数目

9.2.3 坯料设置

- (1) 在物体窗口默认名字 Workpiece, 如图 9.9 所示, 单击 wat, 按钮。
- (2) 在几何窗口如图 9.10 所示,单击 IMBOTE EMEMETER 接钮,导入安装目录下 DEFORM3D\V6_1\Labs 的 Block_Billet.STL 文件,导入文件如图 9.11 所示,单击 I按钮。

| Übject | | | | |
|-----------------------------|-----------|---|--------|---------------|
| Неле | Workpiece | | | |
| Temperature Object type: | Plastic | 3 | | |
| | | | | Import object |
| Close Opr | | _ | < Back | [West |

图 9.9 坯料属性



图 9.10 几何输入



图 9.11 坯料几何体

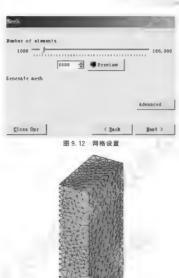


图 9.13 坯料网格

| Material | at The second | | |
|------------------------------|----------------------------|--|--|
| Import material from library | Set truncation temperature | | |
| Import material from file | Delete selected material | | |
| Create new material | | | |
| Eds t | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | 1 | | |
| Close Opr | < Back Hezt > | | |

图 9.14 材料选择

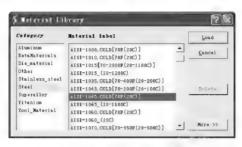


图 9 15 材料库

(5) 在边界状况默认不做处理,如图 9.16 所示,单击 1861,按钮完成设置。

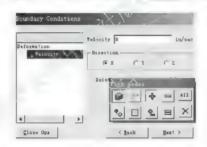


图 9.16 边界条件

9.2.4 上模设置

- (1) 在物体窗口默认模具名称为 Top die, 如图 9.17 所示, 单击 🔤 按钮。
- (2) 在几何窗口,如图 9.18 所示,单击Import Euronettr 按钮,导入安装目录下 DE-FORM3D\V6_1\Labs 的 Block_Top Die. STL 文件,导入的几何体如图 9.19 所示,单击Import 按钮。
- (3) 在运动窗口,默认一Z方向,如图 9.20 所示,单击_mex>__按钮,弹出对话框,如图 9.21 所示,单击_mex_按钮。

| bject | | | |
|-------------|---------|--------|---------------|
| Name . | Top die | _ | |
| Temperature | 300 | 7 | |
| Object type | Rigid | | |
| | | | Import object |
| Close Opr | | < Back | Best > |

图 9.17 上模属性

| Geometry | | 1/1/ | IV. |
|--------------------------------------|---------|----------------|-----------------|
| Import geometry | | | Scale geometry |
| Extract from mesh . | | | Save geometry |
| Define primitive geometry | 7 | | Delete geometry |
| Fix geometry Show geometry normal t | vectors | | Check geometry |
| | | | Mark Geometry |
| Close Opr | | < <u>B</u> a.c | k Heart > |

图 9.18 几何输入



图 9.19 上模几何体

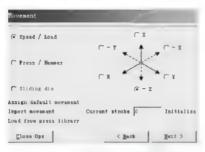


图 9.20 运动方式



图 9.21 询问对话框



图 9.22 运动设置

9.2.5 下模设置

(1) 在物体窗口默认模具名称为 Bottom die, 如图 9.23 所示, 单击 [with] 按钮。



图 9.23 下模属性

(2) 在几何窗口,如图 9.24 所示,单击 Import Reconstry 按钮,导入安装目录下 DEFORM3D\V6_1\Labs 的 Block_BottomDie. STL 文件,如图 9.25 所示,单击 Import 按钮。



图 9.24 几何输入



图 9.25 下模几何体

9.2.6 模具位置设置

在位置窗口,如图 9.26 所示,单击 automatic position按钮,单击 wat, 按钮。



图 9.26 位置定义

9.2.7 接触关系设置

在接触定义窗口,设置摩擦因数为 0.08、如图 9.27 所示,单击 Generate contact modes 按钮,生成的接触关系如图 9.28 所示,单击 Met. 按钮。

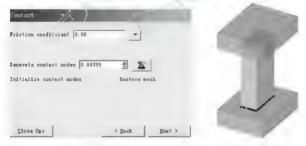


图 9.27 接触定义

图 9.28 接触关系

9.2.8 设置模拟控制

- (1) 在主模具行程窗口设置总行程为 2.6 in. 如图 9.29 所示,单击 № 按钮。
- (2) 在停止控制窗口, 保持默认设置, 如图 9.30 所示, 单击 1041, 按钮。
- (3) 在模拟控制窗口,设置步数为20,存储增量为2,如图9.31 所示,单击 🔤 按钮。

| Frimary Die | Stroke | _22 | |
|-------------------------|----------------|-------------------|--------------|
| Total primary travel | die 2.6 | in | |
| Points on the the value | objects can be | selected with the | mouse to set |
| Exact amous | at . | | |
| Close Opr |] | < Back | Hemt > |

图 9.29 行程设置

| Stopping Controls | pol ^t | |
|--------------------|---------------------|-------|
| Die stroke exceeds | the value | 170 |
| Die load exceeds t | he value . 0 | klb |
| Distance between o | bjects reaches 0 CA | in |
| Disection. | CX CY | € Z |
| Close Opr | → < Back | ext > |

图 9.30 停止控制

| Simulation Cor | ntrols | | |
|-----------------|--------|--------|----------|
| Number of steps | | 4 | |
| Step increment: |]2 | £ | |
| | | | Advanced |
| Close Opr | | < Back | Hezt > |

图 9.31 模拟控制

9.2.9 检查生成数据库文件

(1) 在 DB 生成窗口,如图 9.32 所示,单击 Check data 和 Generate database 按钮检查并 生成 DB 数据库。



图 9.32 DB 生成

(2) 单击 close Obr 按钮关闭工序设置,单击●按钮退出前处理。

9.3 模拟和后处理

模拟过程和后处理的使用与第4章相关内容一样,这里不再赘述。



一、思考题

- (1) 冷成形和热成形在模拟步骤上有什么区别?参数设置有什么差别?
- (2) 试讨论用 Wizard 模块与普通分析模块分析相同成形 I 艺的优缺点?
- (3) 对常见成形 [艺分析时的可能选项进行总结。

第10章 轧制分析



- ★ 了解型钢轧制成形分析的基本设置过程:
- ★ 了解轧辊等物体的设置及网格划分。



| 知识要点 ` [] | 能力要求 | 相关知识 | |
|------------|---|------------------------------|--|
| 轧制分析 入 | 掌握利用 Shape rolling 的 Wizard 分析成形的基本步骤 | 基本设置、物体的设置,关系 的设置 | |
| 物体的生成及网格划分 | 掌握利用 Shape rolling 模块的 物体几何体的几何建立及网格 划分 | 坯料的类型及尺寸, 轧辊的类型及尺寸, 网格的层数及数目 | |



导入案例

扎制是通过一些轧辊对一个长坯料进行加压使其厚度减薄或者界面形放发生变化的 工艺。图 10.0 所示为札制车间。札制过程是一个非常复杂的弹塑性大变形过程。既有材料非线性、几何非线性。又有边界条件的非线性。变形机理非常复杂。难以用准确的数学模型来描述。因此,有限无法被越来越多的应用于模拟板带的札制过程。它不但能解决复杂的非线性问题。而且克服了传统的物理模拟和实验研究成本高且效率低的缺点。



图 10.0 机制车间

本章主要是通过型钢轧制成形案例。让读者了解纵轧分析的基本过程和技术、对于纵 轧, DEFORM-3D设计了专门的模块 Shape rolling。具有建模功能,让用户操作方便快捷。

10.1 分析问题

图 10.1 所示为轧制的模型、考虑坯料的热传导、不考虑轧辊的热传导。



图 10.1 轧制模型

工艺参数(几何体和工具采用 1/4 来分析)如下。

单位: 英制(English)

坯料材料(Material): AISI 1055 [1450 2200F(800 1200C)]

温度(Temperature): 300°F

轧辊温度; 100°F

轧辊速度: 55r/min

10.2 建立模型

10.2.1 创建一个新的问题

- (1) 在主窗口左上角单击 □按钮, 创建新问题。



图 10.2 问题类型

- (3) 在问题位置界面中使用默认冼项(第1个冼项), 然后单击 Im, 按钮。
- (1) 在下一个界面中默认名称(Problem name)为SHAPE ROLL. 如图 10.3 所示、单击 西湖 |按钮、进入前处理模块。

10.2.2 型轧工艺的设置

- (1) 型轧前处理模块接口如图 10.4 所示。



图 10.3 问题名称

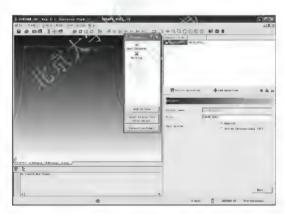


图 10.4 型轧截面

10.2.3 定义轧制工艺

(1) 双击器 图标,在右边方案视图窗口将出现一个型轧工序,如图 10.6 所示。

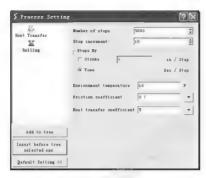


图 10.5 工艺设置

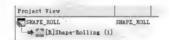


图 10.6 方案工序

(2) 单击 2013年 按钮打开工序,工序名称为Shape-Rolling(1),如图 10.7 所示,单击 mat. |按钮。



图 10.7 工序名称

- (3) 在轧制类型里选中 Lagrangian (incremental) rolling 单选按钮,如图 10.8 所示,单击 Ment > |按钮。
- (4) 在传热计算窗口选中第 2 项、只计算坯料的温度、不考虑轧辊的温度变化、如图 10.9 所示、单击 mat > |按钮。
- (5) 在物体数目窗口,选择 1/4 模式,模具只包含主辊,如图 10.10 所示,单击 met> |按钮。
 - ◇ 提示:型轧的时候确实也不需要侧辊,板带轧制需要。

| Molling Type | |
|--|--------------------------|
| 4 | |
| | |
| | |
| | |
| C Steady State ALE rolling | |
| , bready store and rossing | |
| | |
| | |
| ♠ Lagrangian (incremental) rolli | ng |
| | |
| 图 10.8 | 轧制类型 |
| | |
| | - |
| Thermal calculations | |
| - | |
| Calculate temperature in works | siege and valle |
| (non - isothermal) | steet and total |
| | |
| C-1 | |
| Calculate temperature in works (non - isothermal) | siece only |
| | |
| | |
| Constant temperature (isother | mal) |
| BE 10 9 | 传热计算 |
| EQ 10. 3 | [# mas] ## |
| | |
| Number of objects | |
| | 45 |
| -Model Type - | |
| C Full C Half sre | metry @ Quarter symmetry |
| | |
| March and a second | |
| | ₩ Main rolls |
| | ☐ Side rolls |
| 3. Bottom roll | F |
| 1. Workpiece 2. Top roll | |
| | |

图 10.10 物体数目

10.2.4 轧辊设计

轧辊设计如图 10.11 所示,单占Use primitives for main roll pass design按钮、出现轧辊设计功能、保持默认选项和数字,如图 10.12 所示,单占 Grate 按钮,作图区

出现几何体如图 10.13 所示,单击_____按钮,单击____按钮。



图 10.11 轧辊定义

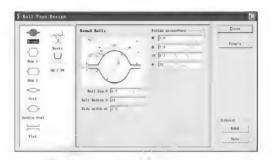


图 10.12 轧辊设计



图 10.13 轧辊几何

10.2.5 定义坏料



图 10.14 坯料属性

(2) 在几何截面窗口、如图 10.15 所示、单击 Use 2D geometry primitives 按钮。

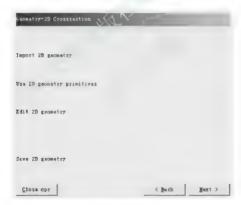


图 10.15 坯料截面

- (3) 在几何像素对话框中,选择圆柱形(Cylinder),设置半径为 4. 如图 10.16 所示,单击 <u>seets</u>按钮,作图区如图 10.17 所示,单击 <u>toss</u>按钮关闭对话框,单击<u>seets</u> 按钮。
- (4) 将 2D mesh 的数量设置为 100, 3D 的 Number of layers 设为 72, 其他默认, 如图 10.18 所示, 单击Generate 3D mesh 按钮, 网络如图 10.19 所示, 单击 Imax)

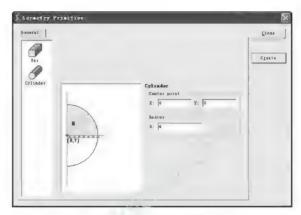


图 10.16 坯料尺寸



图 10.17 坯料几何

按钮。

- - (6) 在坯料边界窗口保持默认,如图 10.22 所示,单击 Imat> 按钮。
 - ◇ 提示: 对称面和热交换面虽然已经定义好了,但也可以修改。

| Mesh | | |
|------------------------|-------------------------------|------|
| # 2D elements | 110 #3D elements | 7920 |
| Cross section mesh | | |
| Number of elements | 10 - 1000 100 | 会 |
| Generate 2D mesh | Show 2D geo and mesh Advanced | |
| -3D meshing parameters | | |
| Number of layers 72 | Size ratio 1.0 | _ |
| Tuniform thickness o | f layers | |
| (Finer mesh from 0.: | 330000 to 0 670000 | |
| Generate 3D mesh | Show 3D mesh | |

图 10.18 网格设置



图 10.19 坯料网格

Import material from library Import material from file Create new material Edit

图 10.20 材料定义



图 10.21 材料选择



图 10.22 边界设置

10.2.6 定义刘.辊

(1) 在物体窗口, 上轧辊的温度设为 100 T, 如图 10, 23 所示, 单击 max 按钮。



图 10.23 上辊属性

- (2) 在轧辊截面定义窗口,如图 10.21 所示,前面已经定义好了,不做改变,单击 Imat > |按钮。
- (3) 在 3D 设置窗口,几何生成选择为 Uniform geometry generation, 层的数目设置为 108. 如图 10.25 所示, 单击Generate 3D geometry 按钮, 作图区如图 10.26 所示, 单占wat> | 按钮,
- (4) 在对称面窗口,选择作图区的对称面,如图 10.27 所示,单击 ◆□
 按钮,生成(0,-1,0)的对称面,单击 ■□
 按钮。

| Geometry-2D (Crosssectio | on defined) |
|--|--|
| Import 2D geometry | |
| Use 2D geometry primiting | res |
| Edit 2D geometry | |
| | |
| Save 2D geometry | |
| Close opr | < Back Hext> |
| | 图 10.24 轧辊截面 |
| Geometry -3D | Contract of the Contract of th |
| Preview digitized 2D geo | ometry set up |
| Geometry parameters | |
| Number of layers 108 ** Uniform geometry ge ** Finer geometry feat | |
| Center of rotation | 0 20 35 |
| Generate 3D geometry | ▼ show 3D geo |

图 10.25 上辊设置

Next >

< Back

Close opr



图 10.26 上辊几何



图 10,27 对称面

(5) 在运动控制窗口, 角速度设置为 55, 如图 10.28 所示, 作图区如图 10.29 所示, 单击 ********* | 按钮。



图 10.28 运动设置



图 10.29 运动预览

10.2.7 定义推块

- (1) 在物体窗口, 上推块的温度设为 100 T, 如图 10.30 所示,单击 № 按钮。
- (2) 在几何截面窗口,如图 10.31 所示,单击 Use 2D geometry primitives 按钮。

| Object | | | |
|-------------|--------|---|--|
| Hame | Pusher | | |
| Temperature | 100 | 7 | |

图 10.30 上推块属性



图 10.31 推块截面

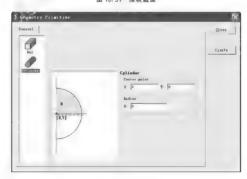


图 10.32 坯料尺寸



图 10.33 推块截面

(4) 在 3D 设置窗口,如图 10.34 所示,单击5enerate 3D geometry 按钮,作图区如图 10.35 所示,单击 zen, | 按钮。

| Geometry ~3D | 11/1 |
|--|----------------------|
| Preview digitized 2D geometry | set up 📝 show 2D geo |
| Geometry parameters Mumber of layers 20 2 | Size ratio√i |
| Center of rotation 0 | 0 |
| Generate 3D geometry | ₩ spom 3D teo |

图 10.34 3D 几何



图 10.35 推块几何

(5) 在对称面窗口,利用 •••• 增加(·0,-1,0)和(0,-0, 1)两个对称面,如图 10.36 所示,然后单击 ••• 按钮。



图 10.36 对称面

(6) 在运动控制窗口,速度设置为30,如图10.37 所示,单击 1001,按钮。

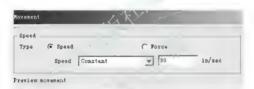


图 10.37 推块运动

10.2.8 接触关系设置

(1) 在位置窗口,如图 10.38 所示,各个物体会自动定位,如图 10.39 所示,单击wat> |按钮。



图 10.38 位置设置



图 10.39 几何位置



图 10.40 接触设置



图 10.41 接触关系

10.2.9 设置模拟控制

在步骤控制窗口,步数设为默认 5000,步长设为 10. 每步时间 0.001,停止条件设置 X 方向,点的坐标设置为 0,如图 10.42 所示,单击 Met> |按钮。



图 10.42 模拟步骤

10.2.10 检查生成数据库文件

(1) 在DB生成窗11. 如图 10.43 所示, 单击Check data 按钮检查, 单击Generate database 按钮生成 DB 文件, 单击_maton_按钮, 弹出图 10.44 所示询问对话框, 单击_maton_按钮.



图 10.43 DB 生成



图 10.44 询问对话框

(2) 单击 ♥按钮退出前处理, 进入到主窗口。

10.3 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的Run按钮开始模拟。

模拟完成后,选择 DEFORM-30 Post 选项进入后处理。此时默认选中物体 Workpiece、单击 ® 按钮、图形区将只显示 Workpiece 一个图形。在 step 窗口选择最后一步、分析结果如图 10.45 所示。



图 10.45 分析结果



在现代计算机控制的带钢生产中, 轧制力设定是一个极其重要的环节, 它是带钢热连轧精轧机组计算机设定模型的核心, 其设定精度直接影响到棍缝的设定, 进而影响穿带的稳定性、板厚精度、板形的控制以及产品的最终质量。因此, 研究带钢热轧过程



中精礼机组的轧制力设定模型、提高轧制力设定精度是非常有必要的。 宝铜 2050 抵轧机组是 20 世纪 80 年代未从德国的西马克(SMS)引进的,它所用的模型都是根据 SMS 生产经验简化了的模型

1) 带钢热连轧有限元模型的建立

根据宝铜 2050 热轧厂提供的现场数据来建立有限元模型、宝铜 2050 热速轧机精轧 区共有7个进次、模拟7 道次热速轧,建模时带钢的长度需要很大,导致划分单元后, 带铜厚度方向上数量太少,影响计算精度,于是这里只模拟了带钢热连轧的前2个道次,煮10-1为精机装带钢的轧刨条数。

表 10-1 带钢热连轧制参数

| 机架号 | 人口厚度/mm | 出口厚度/mm | 相对压下率(%) | 带钢温度/℃ | 轴速/(mm・s-1) |
|-----|---------|---------|----------|--------|-------------|
| F1 | 46.332 | 28. 172 | 39. 20 | 909 | 1030 |
| F2 | 28. 172 | 17. 167 | 39. 06 | 906 | 1680 |

首先利用 SolidWorks 软件建立三维模型、装配完毕后以, st1 格式导入 DEFORM - 3D中, 建模时考虑到带钢轧制的对称性, 可取 1 1 带钢和每道次单个轧辊作为模拟对象。带钢宽度为 1050mm, 长度要根据机架间距来确定, 现场的机架间距为 6000mm, 为了减少单元数量, 应当缩小机架间距, 故此取机架间距为 750mm, 带钢长度为 1000mm。

在划分单元和选择材质时、视带铜为塑性体并对其进行均匀划分、共 51154 个单元。带铜材料为 Q235 铜、入口温度 909℃、对应 DEFORM - 3D 中的材料库选择 AISI - 1016(900—1200℃),为了实现带钢的咬入、模型中设计了一推板、以一定的速度作用于带铜的尾部、当带铜顺利进入辊缝后、推板速度降为 0,从两使带铜进入轧制过程。 机艉和推板均视为侧性体、轧辊直径为 6730mm。

模型中的边界条件主要包括速度边界条件、摩擦边界条件和热边界条件。速度边界条件用来解决对称性问题,设定对称面上所有节点法线方向上的速度为 0。接触面上的摩擦采用剪切摩擦模型、摩擦因于取 0.3。对于热边界条件,取环境温度为 20℃,带铜辐射率为 0.7。热交换系数为 5kW・(m²・℃)-1。

2) 模拟结果分析

模拟控制采用时间增量步,当时间增量步为第1步时,带钢开始在第一机架形成咬入,这时带钢在摩擦力作用下进入辊缝并产生塑性变形,到312步时带钢尾部从第二机架中脱离,完成二机架的热连轧过程。图10.46和图10.47分别为有限元模型局部放大图以及热连轧过程中带钢和轧辊的状态。

图 10.48 是有限元模拟的轧制力随时间的变化曲线。

当带铜在第一机架形成咬入后, 机制力随着时间步的增加急剧上升, 此过程为非稳 急机制过程。当带铜完全进入棍缝后, 金属的变形量不再继续增加, 机制力只在很小的 范围内波动, 这表明机制由非稳态进入稳态过程。当带铜符要脱离第一机架棍缝时, 机 削力开始急制下降, 直到完全脱离时下降为 0。机制力在两个道次的变化规律基本相同, 不同之处在于, 机制力会随着绝对压下量的减小而减小。



图 10.46 有限元模型局部放大图

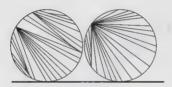


图 10.47 热连轧过程中带钢和轧辊的状态

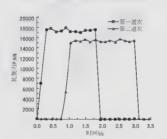


图 10.48 轧制过程中轧制力的变化

应指出的是,在DEFORM 3D中,弹性物体是不能定义旋转运动的,而轧辊压扁对轧制力的影响又必须考虑,因此在计算轧制力时,用图3中的模拟结果乘以轧辊压扁对材料硬度的影响系数。

通过计算得到两个道次的压扁系数分别为 1.0090 和 1.0151。 表 10 · 2 为轧制力计算值和实测值的比较、从表 10 · 2 中的数据可知、有限元模型的计算值和实测值比较接近、相对误差在 5 %以内。同时、有限元模型的计算精度高于宝钢模型、特别是在第一道次、轧制力计算精度高出 4.0%。

表 10-2 轧制力计算值和实测值比较

| At the El electric Alexander | 宝锦 | 模型 | 有限元模型 | | |
|------------------------------|----------|----------|---------|----------|---------|
| 机架号 | 实测值/kN | 计算值/kN | 相对误差(%) | 计算值/kN | 相对误差(%) |
| F1 | 17256. 4 | 15956. 1 | 7.54 | 17861.5 | 3. 51 |
| F2 | 15741.2 | 16283.7 | 3. 45 | 15283. 4 | 2. 91 |

资料来源: 刘洋. 带锅热连轧过程轧制力三维有限元模拟、 锻压技术,2007(5)。



一、思考题

- (1) 轧制的分类形式都有哪些? 模具运动和成形原理是什么?
- (2) 轧制模拟在咬入时需要什么样的条件?
- (3) 轧制成形工艺如何分配成形道次? 判断工艺合理的标准是什么?

第11章

辊锻成形分析



- ★ 了解辊锻成形分析的基本设置过程;
- ★ 掌握辊锻工艺模具运动的设置。



| 知识要点 能力要求 | | 相关知识 |
|-----------|-------------------------|---------------------------|
| 机锻成形分析设置 | 了解辊锻成形分析的基本设置 过程 | 模拟的控制,旋转运动的设置 |
| 轭锻的模具运动设置 | 掌握辊锻旋转运动的方向、大 小及设置方法 | 上辊的旋转方向及大小,下辊 的旋转方向及大小 |



导入案例

總額是材料在一对反向旋转模具的作用下产生塑性变形得到所需額件或額坯的塑性成形工艺。 組織変形原理如图 11.0 所示。 辊镀变形是复杂的三维变形。 大部分变形材料沿着长度方向流动使坯料长度增加, 少部分材料横向流动使坯料宽度增加。 辊锻过程中坯料截面面积不断减小。 辊锻适用于轴类件提长, 板坯辗薄及沿长度方向分配材料等 穿形进程。

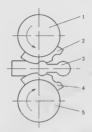


图 11.0 報報变形原理 1-上報報: 2-報報上模: 3-毛坯: 4-報銀下模: 5-下報緞

辊锻成形是证用轧制方式生产锻件的方法、属于连续局部变形、工作过程平稳、快速、设备作积小、重量轻。既适合大批生产又具有较大的菜性。是一种高效、精密、清洁成形技术。是先进制造技术的重要组成部分。是锻造行业应用最广的四转塑性加工技术。但要开发一种复杂零件的辊锻成形工艺、仍需相当长的设计与调试周期。这位指导、无法提供的认识仍处于经验阶段、已有的轧制方面的研究成果只能提供方向性指导。无法提供较精确的计算方法与计算结果。复杂轮癫辊锻件模具成形由面的设计仍然没有成熟的理论指导。在工艺调试过程中,多次修改原始设计是不可避免的。

信息技术的发展、数值模拟和物理模拟技术的进步及不断出现的大型商品化软件等,为开发新型工艺起到了明显的促进作用。使过去几乎无法解决的三维辊像成形复杂变形问题,如材料流动规律、成形机理、内部应力应变场及流动速度场等。可望得到较漂愈的解决。采用商品化软件 DEFORM 3D. 建立了辊锻变形三维有限无数值模拟模型,具有较好的前途。

本章主要是通过辊锻成形案例, 让读者了解辊锻成形分析的基本过程和技术, 掌握辊 锻的运动设置。

11.1 分析问题

图 11.1 所示为辊锻成形的模型。

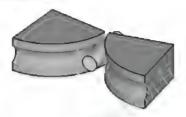


图 11.1 辊锻模型

工艺参数如下。 单位: 国际单位制(Si) 坯料材料(Material): AISI-4340 温度(Temperature): 1150℃

速度: 0.4rad/s 機具行程: π/2

◇ 提示: 这里只是演示一个过程,不考虑热传递对成形的影响。

11.2 建立模型

11.2.1 创建一个新的问题

在主窗口左上角单击 □按钮、创建新问题。在弹出的问题类型(Problem Type)界面中默认进入普通前处理(Deform 3D preprocessor)、单击 way 按钮、问题位置界面中使用默认选项(第1个选项)、然后单击 way 按钮,在下一个界面中输入题目的名称(Problem name)RollForging、单击 way 按钮、就进入前处理模块。

11.2.2 设置模拟控制

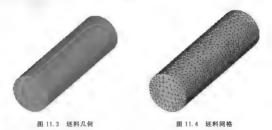
单击學按钮、弹出模拟控制对话框(Simulation Control)、设置模拟名称为 RollForging、仅仅激活热传递模拟 Deformation、设置单位为国际单位(SI单位)、此时弹出单位转换提示对话框、仅选第 1 项 Deformation、单击 ______ 按钮、模拟控制如图 11.2 所示。



图 11.2 模拟控制

11.2.3 坯料设置

- (1) 单击 按钮、物体名称默认 Workpiece 不变、物体类型(Object Type)采用默认的塑性体(Plastic)、单击 ANIMA Townstee 按钮、输入 1150 然后单击 α 按钮。
- (2) 在前处理控制窗口中, 单击 ® 按钮, 选择材料库中的 Steel → AISI 4340 [1550 2200F(850 1200C)], 单击 Loud 按钮加载。
- (3) 单击 🚨 按钮,单击 📸 按钮, 在弹出的对话框中选择 RollForging_ Workpiece, STL 文件导人,导人的文件如图 11:3 所示。
- (4) 单击 🎎 按钮进入网格划分窗口;在网格窗口输入 20000,单击 anamata Zeed 按钮来 生成网格,如图 11.4 所示。



11.2.4 上辊设置

(1) 单击 4 按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Top Die 的物体,基本属性设置保持默认。

(2) 单击 二 核钮、接着单击 🚉 seer 😥 _ 核钮、在弹出的对话框中选择 RollForging TooDie, STL 文件导入, 导入的文件如图 11.5 所示。



图 11.5 上辊几何

(3) 单击 上 按钮,进入物体运动参数设置窗口,选择 Metaten 选项卡,在旋转1里面速度输入0.4rad s,旋转轴选择Z,旋转中心(0.0,0),如图11.6 所示。



图 11.8 上轭运动

11.2.5 下辊设置

- (1) 单击 Q 按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Bottom Die 的物体, 基本属性设置保持默认。



图 11.7 下辊几何

(3) 单击 飞按钮,进入物体运动参数设置窗口,选择 Metatica 选项卡,在旋转1里面速度输入0.4rad/s,旋转轴选择 Z,旋转中心为(0,560,0),如图11.8所示。



图 11.8 下辊运动

- ◇ 提示: 辊锻运动相当于纵轧, 旋转方向相反。
- ◇提示:此案例有对称关系、其实可以取一般坯料来模拟、那样可以考虑不使用下模,这里使用整体分析。

11.2.6 设置模拟控制的步数

单击 學按钮进入 Simulation Controls 对话框、单击副⁴⁴按钮、设置模拟步数(Number of Simulation Steps)为 400、设置存储增量(Step Increment to Save)为 10、在下面设置With Time Increment 为 0.01s、界面如图 11.9 所示、单击 按钮。



图 11.9 步数设置

11.2.7 定义接触关系



图 11.10 接触关系

11.2.8 检查生成数据库文件

单击 @按钮, 在弹出的 Database Generation 对话框中单击 □ ond _按钮,单击 □ ond _按钮,或被拟所需 DB 文件,单击 ●按钮退出前处理,进入主窗口。

11.3 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Lun 选项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORM-3D Fost选项进入后处理。此时默认选中物体 Workpiece,单 击 电 按钮,图形区将只显示 Workpiece,个图形。在 step 窗口选择最后一步,如图 11.11 所示。

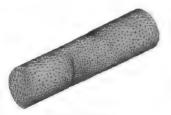


图 11.11 模拟结果



采用商品化软件 DEF()RM 3D,建立辊锻变形三维有限元数值模拟模型,对圆 椭圆 圆型槽下辊锻变形过程进行了模拟仿真,研究了辊锻三维变形状态下应力应变的变化 規律,探讨了不同变形参数对辊锻变形过程及应力应变场的影响。

1) 有限元模型的建立

報銀成形技水是轧钢与锻造两种变形方式交叉融合而产生的新技水、具有鲜明的特点、它將轧钢常用的定常孔型改变成沿轧辊周向不断变化的辊辙型槽。使成形范围大大扩展、也使变形放态复杂化。为了更好地把挺辊锻变形的特点和规律、得到辊锻成形过程的真实描述、完成辊锻变形的三维模拟、取整个工件为研究对象、设计了图 11.12 所示的圆-椭圆-圆辊锻型槽、并建立了由上辊、下辊和轧件共同组成的系统模型、采用刚塑性有限元法进行三维模拟。轧件材料为 45 号钢、材料的流动应为是轧制温度、应变和应重速率的函数。

采用表面-表面和库仑摩擦来模拟接触。定义轧辊表面为目标面、机件表面为接触面、机辊和机件间的摩擦系数 μ =0.4。

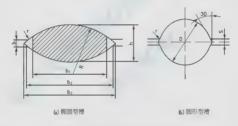


图 11.12 数值模拟中所选用的型槽系

2) 數值模拟结果与分析

计算模型以直径 640mm 的圆柱运料辊镀成直径 30mm 锻件的辊镀变形过程为研究 对象、模拟在理论中心距为 160mm 辊镀机上、经圆 椭圆 圆两道次辊镀成最终产品。 讨论了轧件在椭圆、圆型槽中两道次辊镀的变形过程和材料内部金属速度场、应变应力 场等的演化过程。对不同工艺参数的辊镀变形进行了数值模拟。在以下的讨论中、如无 特殊説明,则轧机转速为 651/min, 变形温度为 1100℃。

图 11.13 中效值模拟结果表明、圆形坯料经由椭圆 圆型槽两道次轧制圆形辊锻件, 其变形过程经过了吸入、稳定轧制和抛铜3个阶段。图 11.13 捻出了坛料分别在椭圆型槽和圆形型槽中辊锻变形区内高度上沿轧制方向的速度场。在咬入阶段、辊镀过程处于不 稳定状态、轧件在辊银模的带动下完成吸入,在过渡段随着压下的进行,金属纵向延伸、 槽向展宽,在初始阶段,由于金属变形较小、轧件横截面各节点的流动速度差别不长,轧 件咬入后进入稳定轧制阶段、金属继续级向延伸横向展宽、随着变形的加剧、轧件变形区各节点的流动速度差别加大。在前滑区、靠近锻辊两侧、轧件变形速度高、向内逐渐降低、中心部分速度最低。在后滑区、精况则相反。在远离中性面和削端的变形区内、轧件高度上速度变化大、在所模拟的椭槽中工件边部和心部的速度差为130mm/s、圆形型槽中为121.5mm s: 沿轧制方向进出口速度差椭槽中为131.1mm/s.圆形型槽中为304.1mm/s.



图 11.13 辊锻变形过程中材料流动速度场

图 11.11 中(a) 为椭圆型槽。(h) 为圆形型槽。变形区内轧件内部应变应力在三维方向均呈不均匀分布状态。两则端处等效应力小、内部等效应力大;轧件在进口处等效应变小、沿轧制方向逐渐增加。无论在椭槽还是在圆槽中辊辊、变形都能渗透到金属内部、且内部金属变形剔积、变形抗力大。图 11.14 中轧件在椭槽中的最大压下量为16mm。在圆槽中为 18mm。尽管轧件在两种型槽中变形量差别不大。但是在圆槽中的导效应变和等效应力和型高于椭槽中轧件的应变应力。等效应变和差 0.52mm/mm、等效应力和差 46MPa。这是由于重形量和型槽结构综合作用的结果。

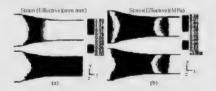


图 11.14 轧件变形区内部等效应变应力场 左侧一等效应变场;右侧一等效应力场

同时模拟了直径为 40mm 坯料经椭圆 圖形两道次铌鍛 φ30、φ25 的铌锻件、其型槽结构如图 11.12, 椭圆型槽尺寸见表 11 1, 轧件在变形区内沿宽度上纵向应力分别如图 11.15 所示。其中图 11.15(a) 为轧件在椭圆型槽中分布图。



| 表 11 | 1-1 | 椭圆型槽尺寸 | |
|------|-----|--------|--|

| n | | | | 椭圆型槽 | | | |
|----|----|----|-------|-----------------------|------------|----|---|
| υ | h | R | b_1 | b ₂ | b 3 | r | S |
| 30 | 24 | 44 | 48 | 56 | 60 | 8 | 4 |
| 25 | 18 | 70 | 56 | 65 | 70 | 10 | 4 |

图 11.15(制) 为轧件在圆形型槽中分布图。D表示轧件辊锁后直径(图 11.15)。图中 E曲线为轧件纵向应力等于零的等值线。以曲线E为分界线。向轧件两外侧和入口方向 为拉应力,且逐渐增加;向内及出口方向为压应力且逐渐增加。

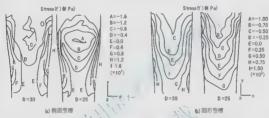


图 11.15 变形区内沿轧件宽度上纵向应力的分布图

辊镀型槽不同,应力分布也不同。在椭圆型槽中,零应力线为两条沿轴线对称分布的 曲线, 轧件沿雾度上纵向应力分部情况表现为两侧受拉应力。中间受压应力, 并且随轧制 方向拉应力区逐渐变窄。压应力区逐渐变管。直到靠近出口处纵向应力令部为压应力。在 圆孔中,零应力等值线 F为一条沿轴线对称分布的连续曲线,在入口处轧件沿宽度上纵向 应力为拉应力,中间部分两侧为拉应力,中间为压应力,靠近出口处则全部为压应力。

不仅辊锻型槽形状和结构影响变形区中轧件的应力分布。变形参数也影响着辊锻变 形、变形区应力分布及应力应变的大小。变形量大、应力应变也大。轧件在两椭圆孔中 的压下量相差 6mm, 最大压应力相差 80MPa; 在圆孔中, 最大压下量相差 15mm, 最 大压应力相差 25MPa。

> ■ 资料来源,刘桂华. 辊锻三维变形过程的数值模拟研究. 塑件工程学报, 2004(3).



一、思考题

- (1) 和纵轧相比、辊锻成形模拟有什么区别? 其变形有什么特点?
- (2) 辊锻常见的缺陷是什么? 如何避免?
- (3) 锻造成形 [艺适合生产什么类型的零件? 试举例说明。

第12章

楔横轧分析



- ★ 了解楔横轧成形分析的基本设置过程:
- ★ 掌握楔横轧分析模具运动的设置;
- ★ 掌握坯料网格局部细化的设置。



本章教学要点

| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 | | |
|------------------|-------------------------|---------------------------|--|--|
| 被横札威形分析设置 | 了解楔横札成形分析的基本设 置过程 | 模拟的控制,轧辊旋转运动的设置 | | |
| 横轧轧辊运动设置 | 掌握横轧轧辊运动的方向、大 小及设置方法 | 上辊的旋转方向及大小,下帮 的旋转方向及大小 | | |
| 坯料网格局部细化 | 掌握坯料局部细化的设置 | 细化窗口的设置。尺寸比率的 设置 | | |



- 导入案例



由于糇横扎工艺的特殊性,工艺参数的选择对于轧件的成形质量至关重要。传统的靠经验试轧的方法不仅设计开发周期长,生产成本也比较高,已经无法满足实际的生产需要。近年来,随着计算机科学的不断发展和有限无技术的日益成熟,以(AE技术等为代表的现代分析手段越来越受到人们的重视,并在现实生产中得到广泛的应用。

本章主要是让读者了解楔横轧分析的基本过程, 掌握网格细化的基本技巧, 掌握楔横 轧成形的分析技术。

12.1 分析问题

图 12.1 所示为楔構轧的有限元模型。

[艺参数(几何体和工具采用 1/2 来分析)如下。

单位, 国际单位制(SI)

材料(Material): AISI-1045

温度(Temperature): 1150℃

这里不考虑热传递。

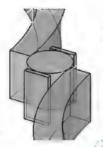


图 12.1 有限元模型

12.2 建立模型

12.2.1 创建一个新的问题

在主窗口左上角单击] 按钮, 创建新问题。在弹出的问题类型(Problem Type)界面中默认进入普通前处理(Deform 3D - preprocessor), 单击 (按钮, 问题位置界面中使用默认选项(第1个选项), 然后单击 (应), 按钮; 在下一个界面中输入题目的名称(Problem name) Cross (wedge rolling, 单击 (如)) 按钮, 统进人前处理模块。

12.2.2 设置模拟控制

12.2.3 坏料设置

- (2) 在前处理控制窗口中, 单击 <u>9</u> 按钮, 选择材料库中的 Steel ►AISI 1045 [1650 2200F(900-1200C)], 单击 Local |按钮加载。
- (3) 单击 。 按钮, 然后单击 **Bloom to** 按钮, 在弹出的对话框中选择 Cross wedge _ rolling _ Workpiece. stl 文件导入。导入的文件如图 12.3 所示。
- (4) 单击 是 按钮进入网格划分窗口; 在网络窗口输入 50000, 选择 Peraled Settlers 选项卡中的 Peraleting Tectors 选项卡,将 Mecha Pasarity Windows 拖动到 1. 如图 12.4 所示。然后选择 Mecha Windows 选项卡, 网络比率设置为 0.01, 运动速度设置为 20mm s, 参数设置如



图 12.2 模拟控制



图 12.3 坯料几何

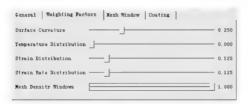


图 12.4 权重因子

(5) 单击 编 按钮,选中置Symmetry plane 图标,选中如图 12.8 所示的对称面,单击 按钮,增加(0,0,1)对称面。



图 12.5 网络细节设置



12.2.4 上報设置

- (1) 单击 @ 接钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Top Die 的物体,基本属性设置保持默认。
- (2) 单占、二、接钮、接着单占 (Element to 数钮) 按钮、在弹出的对话框中选择 Cross wedge rolling roller), stl 文件导入。导入的文件如图 12.9 所示。
- (3) 单击 三 按钮、进入物体运动参数设置窗口、选择 Martina 选项卡, 在旋转 1 里面速度输入 0.419 rad s. 旋转轴选择 Z. 选中中心(0, 1099, 49, 0), 如图 12.10 所示。



图 12.9 上辊几何



12.2.5 下辊设置

- (1) 单击 《按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Bottom Die 的物体,基本属性设置保持默认。



图 12.11 下辊几何

(3) 单击 三 按钮,进入物体运动参数设置窗口,单击 metation 标签, 在旋转 1 里面速度输入-0.419rad/s,旋转轴选择 Z,选中中心(0,0,0),如图 12.12 所示。



图 12.12 下標运动

- ◇ 提示: 楔構礼属于構礼, 旋转方向相同。
- ◇提示:两个轧辊形状相同,位置和角度不同,可以利用一个轧辊平移和旋转获得 另外一个。

12.2.6 挡板设置

- (1) 单击负按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Object4 的物体, 基本属性设置保持默认。
- (2) 单击 三 按钮、接着单击 😅 wear 👀 ____ 按钮、 化弹出的对话框中选择 Cross _ wedge _ rolling bafflel. stl 文件导入。
- (3) 单击 电按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Objects 的物体,基本属性设置保持默认。
- (4) 单击 二、接钮、接着单击 wiser to 按钮、 在弹出的对话框中选择 Cross _ wedge _ rolling _ baffle2. stl 文件导入。导入完全以后视图如图 12.13 所示。



图 12.13 导入轧辊

12.2.7 设置模拟控制的步数

单击 會接钮, 弹出 Simulation Controls 对话框、单击 管 按钮、设置模拟步数(Number of Simulation Steps)为 100,设置存储增量(Step Increment to Save)为 5,在下面设置 With

Time Increment 为 0. 15s, 界面如图 12. 14 所示, 单击 @ 按钮完成设置。

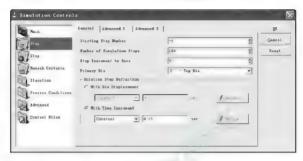


图 12.14 步数设置

◇ 提示: 所有物体的几何体位置已经正确。不需要靠模工作。

12.2.8 定义接触关系



图 12.15 接触关系

12.2.9 检查生成数据库文件

12.3 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟。

模拟完成后、选择DEFORM-3D Post 选项进入后处理。此时默认选中物体 Workpiece、单击 ● 按钮、图形区将只显示 Workpiece 一个图形。在 step 窗口选择最后一步、如图 12.16 所示。



图 12.16 分析结果



由于 DEFORM 3D 软件具有灵活的可视化图形界面和强大的网格自动再划分技术和分析功能、使得它在美国、日本、德国等国家的实际生产和科研中得到大量成功的应用,并得到世界同行的公认。为了更好地说明 DEFORM 3D 的各种功能的应用,这里采用模模札成形的例子来进行验证。这里以 DEFORM 3D 有限元分析软件作为代表,重点介绍它在模模机成形模拟中的应用。

1)模型建立

DEFORM 3D 软件支持多种 CAD 系统,如 Pro Engineer、IDEAS、PATRAN 以及 STL SLA 格式。本模型采用 Pro Engineer 进行建模,另存为 STL 格式后导入 DEFORM 3D 软件前处理器,如图 12.17 所示,中间是轧件,上下分别是上轧辊和下

轧辊, 轧件左右为左挡板和右挡板。

2) 网格划分和再划分

機横轧成形问题属于准静态大变形动力学计算分析问题。图 12.18 是模拟零件在轧割过程时所划分的初始网格。DEFORM 3D 的单元类型是经过特殊处理的四面体。四面体单元比六面体单元容易实现网格重划分。DEFORM 3D 软件有强大的网格自动重划分功能,当初结网格过大或模拟步长过大时,有可能导致模拟过程中出现网格嘈变,这时为了保证模拟的正确进行。DEFORM 3D 软件便启动网格自动重划分功能。



图 12.17 楔横轧三维模型

图 12.18 模型初始网格

3) 应力和应变分析 \

应力和应变分析是有限元分析中的重要组成部分。观察轧件的应力应变情况、可以 为分析成形过程中的变形趋势以及缺陷的产生原因等提供参考依据。图 12.19 为成形过程中工件的等效应变云图、图 12.20 为成形过程中工件的最大主应力云图。从图中可以 看出,模拟结果较好地反映了轧件在成形过程中的应力应变状态。

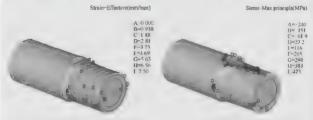


图 12.19 成形过程中轧件的等效应变图

图 12.20 成形过程中轧件的最大主应力图

4) 温度分析

在轧制过程中, 轧件产生了较大塑性变形, 机械功转化为热, 并通过与轧辊的接触 进行传热。此外, 轧件与空气之间也会发生自由接热。图12.21 所示为模拟成形过程中 某一时刻轧件的温度云图。从图中可以清楚地看到此时轧件各部分的温度情况。

5) 金属流动与占的语踪

为了分析椒横刺成形过程中的金属流动。可以采用点追踪的方法。图 12.92 所示分 别为追踪点的初始住置和成形过程中的住置。从图中可以清楚地观察到轧件在成形过程 中的金属流动,为进一步分析其规律提供依据。另外,通过追踪点功能还可以得到点在 成形过程中的方向应力、最大主应力、方向应变、等效应变、方向应变速率、等效应变 速率,温度,位移等参数随变形时间或步数的变化情况。

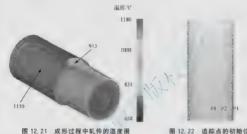


图 12.22 追踪点的初始位置

6) 戴荷分析

DEF()RM-3D 软件可以得到模具在变形工件上所施加的戴荷的大小。如图 12.23 所示, 横坐标为时间, 纵坐标为模具 X 向载荷大小。图中的纵向长直线与载荷曲线的 交点为某个时间所对应的载荷大小,选择不同的时间时,长直线就会在那个时间上高亮 显示,同时显示对应的载荷值。另外,通过鼠标单击曲线上的点,对应时间模型的模拟 情况也会在模型窗口自动显示。

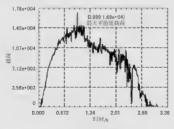


图 12.23 时间-载荷图

■ 资料来源,刘文科、DEFORM-3D在楔横轧成形模拟中的应用。 冶金设备。2010(3).



一、思考题

- (1) 楔横轧的成形原理和成形特点是什么?
- (2) 试对案例的坯料进行不同数量的网格和步长等模拟参数进行调整、看楔横轧模拟的特点及模拟难点。
 - (3) 樱横轧成形的零件有什么特点?根据产品举例说明。



第13章

摆辗成形分析



- ★ 了解摆辗成形分析的基本设置过程:
- ★ 掌握摆辗成形模具运动的设置;
- ★ 掌握坯料进给运动的设置。



| 知识要点~ | 能力要求 | 相关知识 |
|----------|------------------------|------------------|
| 摆辗成形分析设置 | 了解摆辗成形分析的基本设置 过程 | 模拟的控制设置,摆辗头的运动设置 |
| 摆辗模具运动 | 掌握摆辗头运动的方向、大小 及设置方法 | 摆辗头的运动及合成 |
| 坯料运动设置 | 掌握坯料进给运动的设置 | 节点的选择。运动的设置 |



导入案例

摆动模压是利用一个带圆锥的上模对毛坯局部加压并绕中心连续滚动的加工方法。如果圆锥上模母线是一直线、则辗压出的工件上表面为一平面;若圆锥上模母线是一曲线,则工件上表面为一形状复杂的旋转曲面。下模与普通能造方法的下模形状基本相同。为使上模形状尽量简单,一般都将铸件形状复杂的一面放在下模内成形。图 13.0 为摆掘工作原理示乘图.

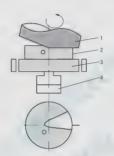


图 13.0 摆辗工作原理图

1一锥形模具; 2一几件13一滑块; 4一油缸

摆动辗压是 2 世纪初出现的一种新的压力加工方法。摆动辗压为造绩局部成形、摆头与坯料之间是滚动摩擦、所以、它的变形力小、设备投资少。能够代替公标压力是其 $5\sim20$ 倍的传统锻压设备,容易实现少无切削加工。这种工艺的优点是,可以加工外形复杂的零件,尤其是适合加工用一般锻造方法无法加工的局部很薄的盘类锻件。具有成形精度高、生产率高、料耗小等特点、摆辗机的振动和噪声小,可改善工人的劳动条件。

本章主要是通过摆辗成形案例, 让读者了解摆辗成形分析的基本过程和技术, 掌握摆 辗成形分析中运动等技术的设置。

13.1 分析问题

图 13.1 所示为摆辗的有限元模型。

工艺参数如下。

单位: 英制(English)

坯料材料(Material): AISI 1010

温度(Temperature): 68°F



图 13.1 摆辗模型

13.2 建立模型

13.2.1 创建一个新的问题

在主窗目左上角单击 查接银、创建新问题。在弹出的问题类型(Problem Type)界面中默认进入普通前处理(DEFORM 3D-preprocessor)、单击 1811) 接银、问题位置界面中使用默认选项(第1个选项)、然后单击 1811) 接银;在下一个界面中输入题目的名称(Problem name)(Problem name)(

13.2.2 设置模拟控制

单击會接望, 準出模拟控制(Simulation Controls)对话框,设置模拟名称为Orbiting, 仅激活热传递模拟 Deformation,设置单位为英制(English)单位,模拟控制如图 13.2 所示。



图 13.2 模拟控制

13.2.3 坯料设置

- (1) 单击 严 按钮,物体名称默认 Workpiece 不变,物体类型(Object Type)采用默认的塑性体(Plastic)。
- (2) 在前处理控制窗口中、单击 ® 按钮、选择材料库中的 Steel ►AISI 1010、C()LD 「70F(20C)」、单击 Land 按钮加载。
- - ◇ 提示: 可以直接输入网格, 也可以由几何体导入后划分。

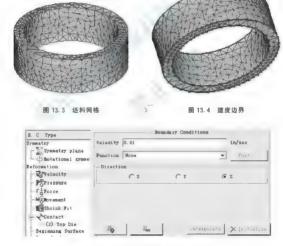


图 13.5 边界设置

- ◇ 提示:相当于下面一个模具将坯料向上顶。
- (5) 分别选中网格的底面、方向分别设为 X 和 Y, 速度设为 0、单击 _____ 按钮、设 完以后的速度截面如图 13.6 所示。

13.2.4 上模设置

- (1) 单击 1 按钮进入物体窗口。可以看到在 ()bjects 列表中增加了一个名为 Top Die 的物体。基本属性设置保持默认。
- (2) 单市 . 按钮,接着单市 @100011 600 按钮,在弹出的对话框中选择 ()rbiting topdie, STL 文件导入。导入的文件如图 13.7 所示。



图 13.6 速度设置

(3) 单击 三 按钮, 进入物体运动参数设置窗口, 选择 Rotation 选项卡, 在旋转 1 里面 速度设置为-0.996rad/s,旋转轴设置为(0.08676829,0.0.99622852),旋转2旋转速 度设置为 1rad/s, 旋转轴 Z。如图 13.8 所示。



图 13.8 上辊运动

13.2.5 设置模拟控制的步数

单击型按钮、弹出 Simulation Controls 对话框、单击 副***按钮、设置模拟步数 (Number of Simulation Steps)为 1000,设置存储增量(Step Increment to Save)为 50,在 下面设置 With Time Increment 为 0.03s, 界面如图 13.9 所示, 单击 四 |按钮。



图 13.9 步数设置

13.2.6 定义接触关系

在前处理控制窗口的右上角单击 4a 按钮, 在弹出的对话框中单击 __xx __按钮, 弹出 Inter-Object 对话框, 设置两组接触关系摩擦因数都为 0.12, 如图 13.10 所示, 单击 640和44 数钮生成接触关系, 然后单击 α 按钮关闭对话框。



图 13.10 接触关系

13.2.7 检查生成数据库文件

单击 圖按钮, 在弹出的 Database Generation 对话框中单击 <u>and</u>按钮, 单击 smarte | 生成模拟所需 DB 文件, 单击●按钮退出前处理,进入主窗口。

13.3 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中, 选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORM-3D Post选项进入后处理。此时默认选中物体 Workpiece、单击 • 按钮、图形区将只显示 Workpiece · 个图形。在 step 窗口选择最后 · 步、其模拟结果如图 13.11 所示。



图 13.11 模拟结果



目前,我国利用摆辗机生产半轴类锻件多为二火工艺,此工艺存在着氧化皮脱落严重现象,这不仅造成了环境污染、更影响了锻件表面质量。一火摆动糕压技术的研究旨在于改善二火工艺的不足。这里研究借助有限元分析方法,对汽车半轴的一火摆辗工艺进行了理论分析。这里所涉及的一火摆辗技术工艺特点为;(1)将传统的预缴坛料两火次加热及为一火次加热;(2)将传统银粗工步选择自由锤假机、液压机等生产设备预成形的方法改进为在摆辗机上连续进料键粗;(3)整个锻造过程在一台摆辗机上连续无间断生产;(4)生产设备设计为双滑块机构,该机滑块由前后两部分组成,加图 13.12 所示。前后滑块用导杆5 穿接,凹模1 固定在前滑块 2 上,主缸活塞杆与后滑块 4 港场延料 3 向前沿岸用 5 与前滑块 2 可以相对运动。当工作开始时,主缸推动后滑块 4 带场延料 3 向前运进,此时,前滑块 2 可以相对运动。当工作开始时,主缸推动后滑块 4 带动矩料 3 向前进,此时,前滑块 2 可以相对运动。当大作开始时,直发性组织束。当后滑块 4 前滑块 2 排紧,做粗变形过程结束。当后滑块 1 前滑块 2 靠紧,做粗变形过程结束。当后滑块 1 前滑块 2 靠紧,做粗变形过程结束。当后滑块 1 的前滑块 2 靠紧,做粗变形过光线。更正半轴法还盘的最终成形。后

人的劳动条件。提高安全性。减轻劳动强度。

1) 有限元模型的建立

图 13.13 为控制坯料初始高径比为 0.9 的汽车半轴法兰摆动辗压有限元模型。

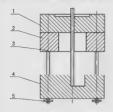


图 13.12 双滑块机构简图 1-四模; 2-前滑块; 3-坯料; 1-后滑块; 5-导杆



图 13.13 汽车半轴法兰摆动辗压有限元模型

零件材料取 10℃、设其为剛黏塑性錢性硬化材料、上模和下模均设为剛性体。 坯料初始加工温度为 1150℃、模具预热温度为 250℃、材料的本构关系和热物性参数取自 DEFORM 材料库。坯料与模具接触面的接热系数取 3kW・(m・K)。采用四节点四面体对工件进行网格划分、工件被离散为 70778 个单元和 15913 个节点、在计算过程中单元和节点数目将随网格自动重划分变化。

2) 法兰盘成形有限无模拟及分析

图 13.14 为摆失转过 6119 rad 时坯料的形变及等效应力、应变情况。由图可见,随着坯料对上模模粒的不断填充,金属沿径向的积聚明显增大,且有沿上模壁向下流动的趋势。由等效应变图可看出,金属此时沿模腔壁向下流动的趋势大于向上流动的趋势。由等效应力图可看出,工件上表面心部等效应力最大,变影速率也最大,且靠近接触区部位的等效应力大于非接触区,从整体来看,金属流动方向沿切向流动刷烈。上模凹陷的拐点处最不易充满,即为难变形处。在法兰和杆部件的角部区域也出现了较大应力和应变速率。此时,坯料的变形属于复合微粗及反挤压变形。



图 13.14 摆头转过 6119rad 时坯料的形变、等效应变、等效应力图





图 13.15 镦粗进给结束时坯料的形变、温度变化及上模载荷曲线图

由形变图可见,当锁粗工步结束时,上模模腔最高点处未被填充完全,这是由于金属受到上模模壁形状的影响,沿模壁向斜下方流动刷烈的结果。要改善充填效果,可以 者虑加太上接侧壁对金属坯料的摩擦力。

由溫度分布图可以看出,与權具接触的部位由于執修等使得溫降較大, 銀件其余部 位則由于变形导致温升。其心部及剔測变形区域由于塑性变形大,产生的绝对温升多, 且高權具近,熱量修导損失較少,使得其溫度变化幅度不大。而在報件靠近模具的区域,由于重形程度小,其溫度分布主要是令採驗緊而核夢交換的控制。

由上模載荷曲线图可见,在徽和过程中。随着摆头与坯料的接触面积不断增加,上模所受的力也随 △ 的增加而增大。这是由于在变形的初始阶段。随着变形量的增加, 锻件内部的位错密度逐渐增加,使得变形抗力逐渐增大。增大过程中, 热加工动态软化 的作用又导致加工硬化速度相对减弱,从两使得曲线呈现非线性变化。由图形还可以看 出,上模数荷的曲线变化是呈脉动式上升的。这是由于在加工过程中。摆头的运动形式 为螺旋式进给粮压,且在工作过程中有微小波动。

图 13.16 是下模带动坯料进给结束时(即挤辗结束时)金属的形变、等效应力及上模 载荷变化情况。



图 13.16 挤辗结束时金属的形变、等效应力、上模载荷曲线图

随着上下模具的闭合,在裸压结束时金属在模具和摆头共同作用下,上模型腔基本 充满,下模与杆部拐角处基本充满,下模腔外缘处有少许间隙未充满且边缘高度大于锻 件盘面高度。由于上模相对下模有3°倾角,当此阶段结束时,维体模接触的工件端面为 空间螺旋面,当滑块速度减慢到v0时,工件端面出现螺距为5~0的螺旋面(s为绛转 压下量)。这种状况在后续精整过程中会得到改善。

从等效应力图来看,当排辗辗压结束时法兰盘与杆部的连接处应力最大。由上模载 符曲线图可看出,金属在此加工过程中的辗压力远失于镶和阶段,且随着时间增加,上 模裁符不断增大直至辗压结束。由此可见,辗压力的最大值应也现在此阶段,通过上模 栽衍曲线图可判断最大辗压力是否在合理机械性能范围内。这也是衡量工艺参数的选取 是否符合机械加工性能要求的关键之处。此加工过程要似乎式模u位组。

图 13.17 为精整两周后法兰盘的最终成形效果、温度场的最终变化及上模载荷曲线图。

由成形效果图可见, 当整个加工过程结束时, 上下模腔完全充满, 在分模面上有少许飞边生成, 并得到了最终的法兰锻件。通过测量和观察, 锻件尺寸精确, 盘各曲面较光滑, 上表面平整, 锻件的终锻成形效果理想。



图 13.17 法兰盘的最终成形

由温度分布图来看,当整个摆动辗压过程结束时,髋件法兰盘部分的金属温度范围仍在 10(°r 材料的热假温度范围; 800~1200°(內。 像件在整个辗压过程中, 其纵向和横向的温度分布都是不均匀的; 其中形变刷列的变形区域温度变化幅度不大, 即当摆辗结束时, 变形复杂的部位温度较高, 最高达 1090°C, 不参与或少参与变形的金属最高温度只有 981°C, 它们之间的温差达 109°C。这是由于在剧烈变形区域内, 部分塑性变形功和摩擦功转化为热能的缘故。而在靠近楼具且参与变形较少的区域, 温度变化幅度明显, 工件的最低温度为 713°C, 与初始加工温度相比降低了 437°C。这是由于工件与空气之间的热对流、热辐射和模具之间的热传导共同作用的结果。由上接载符曲线图可以有出、在转整阶段、上摆的和蛤辗压力最大,此时,企属在维体模的局部连续加压下沿下接外缘径向流动,并在下模形验的约束下变得平整、光滑。图形中斜率较缓的一段为生成飞边时载荷的变化曲线。精整阶段的加工过程美级于闹式模罐过程。

② 资料来源:孙继旺. 基于 DEFORM-3D 的后桥半轴摆辗新工艺分析。 锻压技术,2009(3)。



一、思考题

- (1) 摆辗属于局部成形还是整体成形? 其产品特点是什么? 精度可以达到多少?
- (2) 摆辗成形的原理包括几个模具?运动分别由几部分组成?
- (3) 怎么将模具的运动在软件上合成? 模拟参数对摆辗成形的模拟有什么影响?

第14章

旋压成形分析



- ★ 了解旋压成形分析的基本设置过程:
- ★ 掌握旋压分析模具运动的设置。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|----------|---------------------|-----------------------|
| 旋压成形分析设置 | 了解旋压成形分析的基本设置 过程 | 模拟的控制设置、多个模具的 运动设置 |
| 旋压模具运动设置 | 掌握旋压工艺各个模具的运动设置 | 滚轮运动,心轴设置,顶杆 设置 |



导入案例

旋压技术作为一种先进的塑性成形工艺,是先将金属平板毛远或预制毛坯卡紧在校压机的芯模上,由主轴带动芯模和坯料旋转,依靠主芯模和成形刀具使毛坯材料产生连续的、逐点的塑性变形,从而获得各种每线形状的空心旋转体零件。成形原理如图 11.0 所示。铝合金筒形件旋压成形是制造汽车轮毂、车辆制动缸等薄壁件最有效的工艺方法之一。采用被压工艺所得到的薄壁筒形件精度不进于切削加工,而材料利用率、力学性能等方面都要优于切削加工,因此,这种方法越来越为人们所重视。

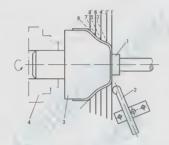


图 14.0 旋压成形原理 一页块:2一赶棒:3一模具:1-卜盘:1'~9'(坯料的连续位置)

120

本章主要是通过一个旋压的分析、让读者了解旋压分析的设置及过程。

14.1 分析问题

图 14.1 所示为旋压有限元模型。



图 14.1 模型

工艺参数如下。 单位; 英制(English) 材料(Material): AISI 1010 温度(Temperature): 常温(68下)

14.2 建立模型

14.2.1 创建一个新的问题

在主窗口左上角单击 圖按钮, 创建新问题。在弹出的问题类型(Problem Type)界面中默认进入普通前处理(DEFORM 3D-preprocessor), 单击 型 按钮, 问题位置界面中使用默认选项(第一个选项), 然后单击 型 按钮; 在下一个界面中输入题目的名称(Problem name)Spinning, 单击 型 按钮, 就进入前处理模块。

14.2.2 设置模拟控制

单击 专按钮、弹出模拟控制(Simulation Controls)对话框、设置模拟名称为 Spinning, 仅激活热传递模拟 Deformation、设置单位为英制(English)单位、此时出现单位转换提示对话框、选第一项单击 @ 按钮、模拟控制如图 14.2 所示。



图 14.2 模拟控制

14.2.3 坏料设置

- (1) 单击 是 按钮,物体名称默认 Workpiece 不变,物体类型(Object Type)采用默 认的塑性体(Plastic)。
- (2) 在前处理控制窗口中、单击 <u>0</u> 按钮、选择材料库中的 Steel → AISI 1010、COLD [70F(20C)]、单击 <u>10ad</u> 按钮加载。
- (3) 单击 🎩 按钮进入网格划分窗口;单击 🍱 60000 mat. 按钮,在弹出的对话框中导 人 Spinning workpiece. UNV 文件。导入的网格如图 14.3 所示。



图 14.3 坯料网格

14.2.4 滚轮设置

- (1) 单击 @ 按钮进入物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Top Die 的物体,基本属性设置保持默认。在名字窗口,将 Top Die 改为 Spin Tool,单击 Channe |按钮。



图 14.4 滚轮几何

(3) 单击 三 按钮, 进入物体运动参数设置窗口,选择 neutra 选项卡,在旋转1将角速 度模式改为f(time),随时间变化,旋转轴输入(-0.70710678, 0.0.70710678),旋转中心 (2,0,1.3068),旋转2 速度 6.28, 旋转轴 Z,旋转中心(0,0,0),如图 14.5 所示,单击



图 14.5 上辊运动

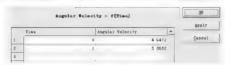
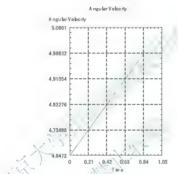


图 14.6 速度设置



14.2.5 心轴设置

图 14.7 速度曲线

(2) 单击 🚨 按钮、接着单击 🍅 Mandrel. STL 文件导入。导入的文件如图 14.8 所示。



图 14.8 心轴几何

(3) 单击 三 按钮,进入物体运动参数设置窗口,在运动控制窗口中,设置参数 Drection 为 Z, Speed 为 0.1,如图 14.9 所示。

| Speed | C Harren | C Mechanic | al press | s C Sliding & | Le |
|----------------------------------|--------------------------|------------|------------|---------------|----|
| Force | C Screw press | C Hydrauli | C press | | |
| Direction | | | | | |
| C = C = 1 | FZ COther 0 | | В | | |
| | | ľ | 0 | 1 | |
| | - Z Current stroke 0 | | 8 | - a | iz |
| | ~ - Z Current stroke 0 | | | | 12 |
| | ^ - Z Current stroke 0 | | | | iz |
| C-x C-x | - Z Current stroke 0 | C Vzer Box | 0 | | iz |
| Specifications | ~ Z Current stroke 0 | , | 0 | a | iz |
| Specifications Defined | -Z Current stroke 0 | , | n stine | a | iz |
| Specifications Defined Defined | | C Vzer Rov | n stine | a | |

图 4.9 心轴运动

14.2.6 顶杆设置

- (2) 单击 . 验银、接着单击 ☞ ₩ 按钮、在弹出的对话框中选择 Spinning _ Tailstock. STL 文件导入。导入的文件如图 11. 10 所示、导入完成后视图区域如图 14. 11 所示。



图 14.10 顶杆几何

图 14.11 分析几何

(3) 单击 是 按钮、进入物体运动参数设置窗口、在运动控制窗口中、设置参数 Direction 为 Z,Speed 为 0.1,如图 14.12 所示。

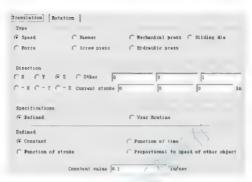


图 14.12、顶杆运动

14.2.7 设置模拟控制的步数

单击 ****** 接钮. 弹出 Simulation Controls 对话框. 单击 ****** ** 接钮. 设置模拟步数(Number of Simulation Steps)为 1000, 设置存储增量(Step Increment to Save)为 10. 在下面设置 With Time Increment 为 0.002s, 界面如图 14.13 所示, 单击 ****** ** 按钮完成设置。



图 14.13 步数设置

14.2.8 定义接触关系

在前处理控制窗口的右上角单击 @ 按钮, 在弹出的对话框中单击 1841 | 按钮,设置

Top Spin Tool Workpiece 摩擦因数为 0.1, 另外两个摩擦因数设置为 1, 如图 14.14 所示,单击 swanta all 生成接触关系,然后单击 @ 按钮关闭对话框。



图 14.14 接触关系

◇ 提示: 心轴和顶杆的作用是夹持材料, 所以摩擦因数取的很大。

14.2.9 检查生成数据库文件

14.3 模拟和后处理

在 DEF()RM-3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的Run 选项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORM-3D Post 选项进入后处理。此时默认选中物体 Workpiece、单击。按钮、图形区将只显示 Workpiece 一个图形。在 step 窗口选择最后一步,如图 14.15 所示。



图 14.15 旋压结果



DEFORM 3D 不仅能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用下的变形和执 特性,而且能够在考虑变形热效应以及工件与模具和周围介质热交换的情况下、确定变 形的应力、应变和温度分布。从而给铝合金设压工艺优化和模具设计提供了明确的指 等,为实际生产提供了理论支持。这里运用 DEFORM 3D 軟件建立铝合金简形件仿真 權利,財益压成形过程排行了數值權級。

1) 模型的建立

首先在三维造型软件 Pro E 中建模,然后导入 DEF()RM 3D。DEF()RM - 3D 具有强大的网络自动则分功能,所采用的单元类型是经过持珠处理的四面体,容易实现网格的自动划分。网格大小的选取以保证精度、尽量降低运算量为原则,同时又要能够准确及映零件的各个细微特征。因此采用四节点四边形量元对毛坯进行网格划分,毛坯划分为11277个节点,181277个单元,其网格图如图 14.16 所示。其中毛坯定义为弹塑性体,芯模、嵌轮与尾顶块定义为侧性体,不需要进行网格划分和材料定义。

2) 模拟方案的设定

在实际加工中,芯模、旋轮、毛坯三者之间的相对运动比较复杂。一方面,毛坯和芯模在主轴的带动下做旋转运动;另一方面。旋轮沿着轴向进给、并且由于摩擦力的作用而绕自身轴心旋转。为了便于旋压过程的模拟计算和结果的准确性。在建立有限元模型时采用相对运动的方式。即;假定毛坯和芯模、尾顶块固定不动。旋轮绕着 X 轴(旋转中心轴)沿毛坯表面做旋转运动和轴向运动,其摩擦因数设定为 0.12。将毛坯和芯模、毛坯和尾顶块的接触处定义成约束状态,芯模、尾顶块在 X、Y、Z 方向的位移和绕 3 个轴的转动速度均定义为 0. 这样模拟与实际的旋压过程就是等价的,其有限元模型如图 14.17 所示。



图 14.16 毛环网络划分图



图 14.17 模型图

影响铝合金旋压成形的工艺参数有很多,主要有壁厚减薄率、旋轮进给率、主轴转 途、旋压温度等。考虑到实际生产中采用冷旋工艺,所以旋压温度取室温为 20℃;主轴转 速对旋压成形的影响较小,但是适当的转速可以改善零件表面的粗糙度并提高生产效率。 当主轴转速高时,相当于单位时间内变形区的面积增加,有效限制了变形时材料的周向流 动,工件变形条件得以改善、保证了工件有较高的尺寸精度和表面质量,但是过高的转速 会使机床产生震动,因此把主轴转速设定为400r/min。具体工艺参数数值见表 14 1.

表 14-1 旋压模拟工艺参数数值选择

| 旋压温度 t/℃ | 主轴转速 n/(r • min-1) | 壁厚滅薄率 D ₁ (%) | 旋轮进给率 f/(mm • r-1) |
|----------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| 20 | 400 | 30, 50, 70 | 0, 5, 0, 75, 1, 0 |

3) 模拟结果分析与讨论

选择表 1:11 中不同的壁厚减薄率和旋轮进给率进行组合,然后得到几组数值进行 模拟。在每组模拟计算中,旋压温度和主轴转速均保持不变。

雙厚滅簿率反映了工件的变形程度、是璧厚滅小量与初始壁厚的比值。在故压过程中,滅薄率是变形区的一个主要工艺参数。因为它直接影响到最压力和被压尺寸的大小及校压精度。当壁厚滅簿率为70%时,旋转下方容易产生金属堆积、工件表面不光滑、出现微波纹、折叠等现象、如图14.18所示。同时,旋压力及各向载荷都达到最大值、增加了设备的吨位;当壁厚减薄率为30%时,会引起工件厚度变形不均匀,导致工件内表面变形不充分而出现裂纹。如图14.20所示,既能得到成形质量良好的工件,又能提高生产效率。如果一次成形得不到所需工件,可以分多道次进行校压、每道次减濟率应逐渐增大,道次减薄量由大到小依次造减。



图 14.18 表面粗糙的工件



图 14.19 起皮的工件

选择旋轮进给率的原则是,在可能的条件下、尽量取大一些。进给量对旋压过程影响很大,与零件的尺寸精度、表面光洁度、旋压力的大小和毛坯的减薄率都有密切的关系。当进给率为 1.0mm/r 时,旋轮前面易形成凸起。导致材料的堆积、出现起簸、起皮、如图 14.19 矫示; 当取 0.5mm r 时,又由于弹性变形的缘故、使本来就很小的材料变形流动量分布在沿壁厚方向不同的流动面上,引起材料的夹层和破裂现象。因此取进给率为0.75mm/r、既有利于旋压件贴模又有利于提高零件的表面光洁度、提高生产效率、如图 14.20 所示。

采用各组不同的工艺参数进行模拟后,根据工件的表面成形质量及精度的好坏、得到了一组较优的数值(壁厚减薄率为 50%, 旋轮进铃率为 0.75mm r), 如图 14.20 所示,再用这组优化的工艺参数进行模拟。得到了最终的成形网格图,如图 14.21 所示。



图 14.20 成形质量良好的工件



图 14.21 工件成形网格图

利用这组最优化的工艺参数进行模拟、从图 11.22 可以看出,成形过程中,随着被 轮在毛坯上的轴向进给、毛坯受到了接压力的作用。在毛坯与效轮的接触区域、应力最 大,达到了 327MPn、等效应力达到了屈服强度、接触区金属在效压力作用下发生了塑 性变形,并向旋轮运动方向发生流动。同时,在被轮周围的圆周上等效应变也比较大、 但其常化幅度不太,在远离验轮的动核阶段。等效应要几平为()。如图 14.23 所示。



图 14.22 最优化模拟条件下的等效应力



图 14.23 最优化模拟条件下的等效应变

旋压过程中,在工件与旋轮的接触面上会产生一定的旋压力。一般将旋压力分解为 五相垂直的 3 个分力,其中 X 方向的旋压力为轴向旋压力,Y 方向的旋压力为径向旋压力, Z 方向的旋压力为切向旋压力。由图 14.24~图 11.26 可以看出。随着旋压过程的进行,各向旋压分力都是先逐渐增大,然后趋于相对半稳,在旋压进行到一定程度时,被压分力出现最大值,随后,旋压分力逐渐减小。这主要是由于在旋压进行时,由于转斜的隆起和堆积逐渐增加。旋轮与毛坯接触面积增大。使得被压的相对压下量增大,当进行到一定程度后,材料的隆起和堆积程度及开始减小的缘故。在破压力的各个分力中,径向被压力和总被压力大小相近,又远大于轴向旋压力和切向旋压力。



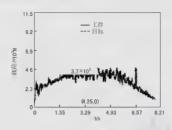


图 14.24 X 向旋压力

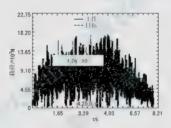


图 14.25 Y 向旋压力

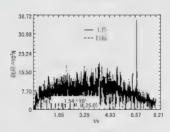


图 14.26 Z 向旋压力



一、思考题

- (1) 旋压的成形原理是什么? 在模拟分析的时候如何简化。用 DEFORM 3D 和板料成形分析软件对结果有什么影响?
 - (2) 旋压的模具动作如何用直线和旋转运动合成?
 - (3) 旋压在网格划分和模拟参数选择时有什么特点?



第15章

断裂分析



- ★ 了解断裂工艺分析的基本设置过程;
- ★掌握坯料材料断裂准则的设置。



| 知识要点 ` ` ` | 能力要求 | 相关知识 |
|------------|---------------------|---------------------|
| 断裂工艺分析设置 | 了解断裂工艺分析的基本设置 过程 | 模拟的控制设置、断裂分析所需选项 |
| 断製准則 | 掌握坯料材料断裂准则的设置 | 断裂准则类型和值。网格删除 准别 |

导入案例

在金属成形和加工工艺中,不可避免地会出现材料的断裂现象,这种现象有利有 弊。比如拉深工艺中的破裂、挤压工艺的十字和人字裂较、假造工艺的开裂等, 断裂是 成形过程中需要避免的主要缺陷之一,设计财必须避免出现断裂现象。而对于冲截、切 料的材料分离,切削工艺的切屑,断裂往往是不可避免的。所以合理的预测加工工艺中 裂敛的产生以及准确分析有断裂现象的产品最终形貌,对现代研究和设计具有举足轻重 的作用。

随着数字化在模拟仿真在制造业的广泛应用、材料模型至关重要。为了合理利用材料的断象行为、减少金属成型工艺不必要的断裂危险、有限元仿真可以提供强有力的保证、准确地对材料的断裂行为进行模拟仿真。除了能够准确处理材料的非线性、几何的非线性以及边界条件的非线性等问题以外。模拟过程材料断裂的判定和材料断裂后网格的调验和重划分显得尤为重要。网格的删除和重划分技术主要为软件开发商研究的对象、所以对一般科技研究人员、断裂准则的准确获得成为金属断裂行为数值模拟仿真的最关键因素。

本章主要是通过冲裁案例, 让读者了解断裂分析的基本操作, 掌握实现断裂分析的具体设置。

15.1 分析问题

图 15.1 所示为冲裁成形的有限元模型。

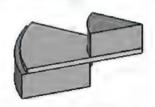


图 15.1 有限元模型

工艺参数如下。 单位,国际单位制(SI) 坯料材料(Material); AISI 1010 温度(Temperature); 20℃ 速度; 1mm/s

15.2 建立模型

15.2.1 创建一个新的问题

在主窗口左上角单击 ①按钮、创建新问题。在弹出的问题类型(Problem Type)对话框中默认进入普通前处理(Deform 3D preprocessor)。单击 ஊ ,按钮、问题位置对话框中使用默认选项(第1个选项)。然后单击 趣歌 按钮、在下一个对话框中输入题目的名称(Problem name)Blanking、单击 题题 按钮、就进人前处理模块。

15.2.2 设置模拟控制

单击 會接钮, 弹出模拟控制(Simulation Controls)对话框,设置模拟名称为 Blanking, 仅激活热传递模拟 Deformation,设置单位为国际单位(SI单位),此时弹出单位转 换提示对话框,选第一项后单击。每一按钮,模拟控制如图 15.2 所示。



图 15.2 模拟控制

15.2.3 材料设置

- (1) 单击 按钮, 弹出图 15.3 所示的材料设置对话框。
- (2) 单击 Load 180n 112 按钮, 在弹出的对话框中选择 Steel *AISI 1010, COLD [70F(20C)] 选项, 如图 15.4 所示, 单击 Lond |按钮加载。

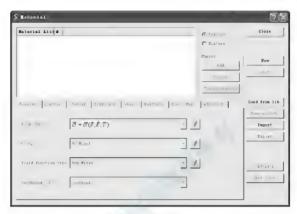


图 15.3 材料设置



图 15.4 材料选取

| Fracture | Mormalized C&L | - Ø |
|---------------|----------------|-----|
| Mech. to heat | 0 9 | |
| Body force | 0 | |

图 15.5 断裂模型





图 15.6 断裂准则

15.2.4 坯料设置

- (1) 单击 遵 按钮,物体名称默认 Workpiece 不变,物体类型(()bject Type)采用默 认的塑件体(Plastic)。
 - (2) 单击 图按钮, 选择 alsi-ioio.comp[ror(20c)] 选项。
- (3) 单击 品 按钮,接着单击 @Inoxt Mea. 按钮, 在弹出的对话框中选择 Blanking workpiece, UNV 文件导人。导人的网络如图 15.7 所示。



图 15.7 坯料网格

- (1) 单击 3 按钮. 选中 Symmetry plene 图标. 分别选中坯料的两个对称面, 单击 → |按钮,增加(0, -1, 0)和(-0.707, 0.707, 0)对称面。
 - (5) 单击 " 据 按钮, 选择 *** 选项卡, 输入断裂单元 4, 如图 15.8 所示。



图 15.8 断裂单元

15.2.5 上模设置

(1) 单击 与按钮进人物体窗口。可以看到在 Objects 列表中增加了一个名为 Top Die

的物体,基本属性设置保持默认。

(2) 单击 二 按钮、接着单击 @least to 按钮、在弹出的对话框中选择 Blanking Topdie, STL 文件导入。导入的文件如图 15.9 所示。



图 15.9 上模几何

(3) 单击 三 按钮, 进入物体运动参数设置窗口, 方向为一Z, 速度为 1, 如图 15.10 所示。

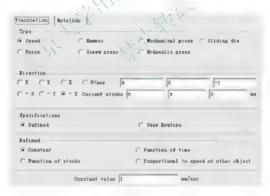


图 15.10 上辊运动

15.2.6 下模设置

(1) 单击 4 按钮进入物体窗口。可以看到在 ()bjects 列表中增加了 个名为 Bottom

Die 的物体,基本属性设置保持默认。

(2) 单击 __ 按钮、接着单击 @ bloom too 按钮、在弹出的对话框中选择 Blanking BottomDie. STL 文件导入。导入的文件如图 15. 11 所示。



图 15.11 下辊几何

15.2.7 设置模拟控制的步数



图 15.12 步数设置

15.2.8 定义接触关系

在前处理控制窗口的右上角单击 中接钮,在弹出对话框中单击 185 按钮,弹出

Inter Object 对话框,设置两组接触关系摩擦因数都为 0.12,如图 15.13 所示,单击 6mmata au 按钮生成接触关系,然后单击 α 按钮关闭对话框。



图 15.13. 接触关系

15.2.9 检查生成数据库文件

单击 昼按钮、在弹出的 Database Generation 对话框中单击 _ case _ 按钮检查、然后单击 case _ 按钮性战棒拟所需 DB 文件、单击●按钮退出前处理、进入主窗口、

15.3 模拟和后处理

在 DEFORM - 3D 的主窗口中, 选择 Simulator 中的Run 选项开始模拟。

模拟完成后,选择DEFORM-3D Post选项进入后处理。此时默认选中物体 Workpiece、单击 ● 按钮、图形区将只显示 Workpiece 一个图形。在 step 窗口选择最后一步,如图 15.14 所示。



图 15.14 分析结果



应用条例15-1、

根据精冲的工作状况。利用塑性成形计算机模拟软件可以对精冲的过程和各影响参数进行仿真模拟和参数优化。为精冲模具的设计提供参考。

1) 精冲冲裁过程的计算机模拟

通过 DEF()RM 3D 模拟可清楚地了解精冲过程中金属材料的流动规律。

精冲模具冲孔工艺过程大体上分为四个阶段:

(1) 弹性变形阶段。

冲孔工作开始, 凸模接触材料前施压, 使材料产生弹性压缩而在凸模周围发生材料聚集, 形成不大的环状凸起(图 15.15)。

(2) 塑性变形阶段。

凸模及压料板施加大压力, 达到材料的屈服点, 材料向孔周围流动并开始挤入凹模, 产生定向塑性流动(图 15,16)。



图 15.15 弹性变形阶段



图 15.16 塑件变形阶段

(3) 剪切变形阶段。

当凸模继续下行,材料停止向孔周围流动,而大量挤入凹模洞口。此时凸模刃口部分的材料达到材料的抗剪强度。故首先在发生应力集中的锋利刃口处产生显微裂纹,但没有剪裂(图 15,17)。

(4) 剪裂变形阶段。

凸模下行到一定程度,显微裂致在金属材料内部扩展,并使材料沿凹模刃口出现剪切裂敛,开始断裂(图 15,18)。



图 15.17 剪切变形阶段



图 15.18 剪裂变形阶段

通过 DEFORM 3D 模拟可清楚地了解精冲过程中金属材料的流动规律、由图可知, 初始凸模压入毛坯、到零件从坯料上分离之前、网格都是连续的、没有被切断、说明软材料的精冲过程是一个金属的流动过程, 这一点与普通冲截的剪裂不同。凹模圆角可有效地抑制剪切过程的发生, 材料是在挤压和弯曲的复合作用下流入凹模的。精冲过程的变形区特别集中,主要集中在凸、凹模刀口附近。

2) 精冲工艺的数值模拟分析

模拟不同剪切间隙与刃口圆角值下的精冲零件的成形过程、观察分析零件断面情况、等效应力图揭伤程度以及压力行程曲线情况。

当剪切间隙为 0.02mm, 刃口圆角为 0.02mm 时、模拟结果为最佳。其零件等效应 为图如图 15.19 所示。



图 15.19 零件等效应为图

根据模拟结果可知: 当精冲模具参数的取值较为合理时, 精冲零件剪切面质量较好, 光洁切面所占料厚的比例大, 零件撕面垂直度较高, 等效应力应变状态良好, 没有应力集中现象产生, 材料没有明显的损伤。

资料来源:罗静.精冲过程的计算机模拟及工艺参数优化。 锻压装备与制造技术,2005(4)。



一、思考题

- (1) 常见的断裂准则是什么? 试表述其原理。
- (2) 常见成形工艺的断裂行为包括哪些? 产生的力学原因是什么?
- (3) 试述断裂在成形中的优缺点。如何消除和利用这些优缺点?

第16章

模具磨损分析



- ★ 了解模具磨损分析的基本设置过程;
- ★ 掌握模具磨损材料的磨损模型设置;
- ★ 掌握模具材料硬度的设置。



| 知识要点~ | 能力要求 | 相关知识 |
|--------|---------------------|---------------|
| 模具磨摄分析 | 了解模具磨摄分析的基本设置 过程 | 分析磨损类型、模具材料性能 |
| 模具磨损 | 掌握模具磨损材料的磨损模型 设置 | 磨损类型、磨损参数 |
| 模具材料硬度 | 掌握模具材料硬度的设置 | 单元的选择,硬度的分配 |

导入案例

在金属加工过程中,导致模具失效的因素主要有磨损、塑性变形以及断裂。其中,由于断裂和塑性变形而导致的模具失效,可以通过模具的合理设计、模具材料的合理选择来减少,但是,模具的磨损是由模具与工件的接触而造成的,因此,由于磨损而导致的模具失效难以控制。若能利用有限元建立成形工艺参数与模具磨损量的关系,就能更好地指导模具设计与生产,从而提高模具的使用寿命。

本章案例通过分析挤压过程中模具的磨损量,让大家掌握成形工艺中模具磨损的分析 过程。

16.1 问题分析

此案例是一个反挤压工序,如图 16.1 所示。



图 16.1 计算模型

工艺参数(几何体和工具采用 1/4 分析)如下。

单位: 英制(English)

工件材料(Material): AISI-1010

模具材料(Material): AISI-H-13

温度(Temperature); 常温(68°F)

上模速度, lin/s

模具行程: 1.5in

16.2 建立模型

16.2.1 创建一个新的问题

在主窗口下,单击 自按钮,建立一个新的问题,在弹出的界面中默认进入普通前处理(DEFORM 3D - preprocessor),单击 <u>mat</u>按钮。接下来在弹出的界面中使用默认选项(第1个选项),单击 <u>mat</u>按钮,然后在下一个界面中输入问题名称(Problem Name)Toolwear(模具磨损),如图 16.2 所示。单击 Databb 按钮,进入前处理模块。



图 16.2 问题名字

16.2.2 设置模拟控制

- (1) 单击 會按钮, 弹出模拟控制对话柜, 设置单位为英制(English)单位, 模拟类型 为拉格朗日增量法(Lagrangian Incremental), 选中成型(Deformation)复选框和热传递 (Heat Transfer)复选框, 如图 16.3 所示。
- (2) 单击颤·被钮、设置起始步为-1、模拟步数为75步、每5步保存一次。控制方法定义为步长增量、并设为0.02m/step。如图16.1所示、单击_____按钮退出控制对话框。

16.2.3 导入毛坯几何文件

单击 **①** 按钮两次增加工具上模和下模。

(1) 选中物体 Workpiece、单击 🚨 按钮、接着单击 😅 work 👀 按钮、在弹出的对话 框中选择安装目录 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 Tool Wear Labl Workpiece, STL 文



图 16.3 模拟控制



图 16.4 步數控制

件导人。

(2) 选中物体 Top Dic. 单击 ___ 按钮. 接着单击 @Imeert ise. 按钮, 存弹出的对话框中选择安装目录 DEFORM3D\V6_1\Labs 的 Tool_Wear_Labl_Punch.STL 文件导入。

(3) 选中物体 Bottom Die、单击 ② 接钮、接着单击 ☑ wort ← 按钮、在弹出的对话 框中选择安装目录 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 Tool Wear Labl Die、STL、文件导人。导人的物体如图 16.5 所示。

16.2.4 网格划分

(1) 选中物体 Workpiece, 单击 显 按钮, 在网络数目窗口输入 25000, 单击 Emerate Notal 按钮生成网格。

(2) 选中物体 Top Die, 单击 墨 按钮, 在网格数目窗口输入 35000, 单击 seemte Meta 按钮生成网格, 生成网格以后的模型如图 16.6 所示。



图 16.5 几何体



图 16.6 模拟网格

◆提示:对于模具的磨损估计来说,当然是网格越多越好。此業例不考察下模的磨損放沉,所以不需要划分网格。

16.2.5 定义材料

- (1) 选中物体 Workpiece, 单击 ≛ 接钮, 单击 <u>9</u> 接钮, 选择材料库中的 Steel ►AI-SI-1010COLD [TOF(20C)], 单击 604 按钮。
- (2) 选申物体 Top Die,单击 ≥ 按钮,单击 <u>**</u> 按钮,选择材料库中的 Die _ material ***** AISI-H-13,单击 low 按钮。

16.2.6 边界条件定义

- (1) 选中物体 Workpiece, 单击 "选 按钮, 选中对称面选项(Symmetry Plane), 分别选择坏料两个对称面, 并单击 "查 按钮。选中热交换面(Heat Exchange with Environment)图标, 选择还料除对称面之外的所有面, 单击 "专 按钮。
- (2) 选中物体上模、单击 墨 按钮、单击 验 按钮。选中热交换面(Heat Exchange with Environment)图标、选择上模除对称面外的所有面、单击 ——按钮。

16.2.7 定义对称面

- (1) 选中上模,单击 . 按钮,选择 | Smarting Surface | 选项卡。分别单击上模的两个对称 面,并单击 144 | 按钮。

16.2.8 定义物体间关系

(1) 单击鸣按钮,在弹出对话框中单击 <u>——</u>按钮,同意系统建立默认关系、如图 16.7 所示。



图 16.2 物体关系

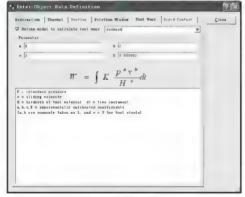


图 16.8 磨掃模型

16.2.9 定义材料的硬度



图 16.9 单元资料

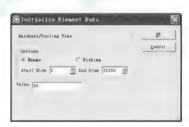


图 16.10 初始单元资料

16.2.10 模具运动

在物体列表中选中物体 Top Die, 在物体资料窗口单击 三 按钮, 在运动控制窗口中,设置参数 Direction 为 Z, Speed 为 1, 如图 16.11 所示。

| Speed | (Hammer | (Mechanical press | C Sliding die | |
|---------------------------|--------------------|--------------------|------------------|------|
| Force | C Screw press | C Hydraulic press | | |
| Direction | | | | |
| C X C A | CZ COther 0 | 0 | -1 | |
| C - X C - Y | □ Z Current stroke | 0 | 0 | in |
| Specifications • Defined | | C User Routine | | |
| Defined | | | | |
| | | (Function of time | | |
| Constant | | | eed of other ob; | ject |
| Constant Function of | stroke | Proportional to sp | | |

16.2.11 检查生成数据库文件

在前处理控制窗口单击 @按钮,单击 ement: 按钮生成模拟所需 DB 文件,然后单击 Closs 按钮返回到前处理控制窗口,单击■按钮,退出前处理,进入主窗口,

16.3 模拟和后处理

在 DEF()RM-3D 的主窗口中,选择 Simulator 中的 Run 选项开始模拟。



图 16.12 变量选择



图 16.13 模具磨损深度

- 应用条例16-1-

1) 模拟参数设定

由于有限元数值模拟计算是一种近似数值算法、所以模拟参数的选择就显得尤为重要。 这里的模具材料为 H13. 初始温度为 200℃; 坯料为 AISI1015. 初始温度为 950℃; 摩擦图子 m 为 0.13、传换系数为 1.13W (m··K)、对流接携系数为 0.102W (m··K)、畅新系数为 0.13、成形速度 v 为 250mm s。 H13 与 AISI1015 的共享率随温度的变化关系 如图 16.14、图 16.15 所示,变化模拟条件见表 16-1。采用 Archard 磨损模型预测模具在 成形过程中的磨损量,其表达式为

$$w = \int K \frac{P'v''}{H} dt$$

式中:w 为磨损深度;P 为模具表面正压力;v 为滑动速度;u、h、 ℓ 为标准常数。对铜而言,u、h取 1. ℓ 取 2;K 为与材料特性相关的常数。 $K=2 \times 105$;H 为模具初始 硬度(HRC)。

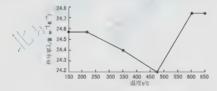


图 16.14 H13 热导率 A 随温度变化的曲线

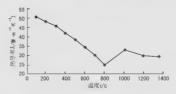


图 16. 15 AISI1015 热导率 λ 随温度变化的曲线

| 亦 16 - | 1 2 4 1 / 1 / 1 / 1 / 1 / 1 / 1 / 1 / 1 / 1 | 描划各件 |
|--------|---|------|

| 模具初始硬度 HRC | 30,40,45,50,55,60,65(表面处理后) |
|-------------|---|
| 模具初始温度 t./℃ | 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 |
| 摩擦因子 m | 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.5 |

2) 模且磨损影响分析

从目前情况看,热成形模失效的基本形式主要有磨损、变形、断裂和疲劳等。在热 挤压中最为常见的失效形式为变形和磨损。当模具材料的强度小于坯料的变形抗力时, 模具将产生塑性变形而引起失效,而磨损是最为普遍的失效形式。图 16.16 所示为模拟 结束时, 凸模与坯料网格及凸模磨损分布情况。



图 16.16 凸模与环料网络及凸模磨损分布

(1) 初始硬度对磨损量的影响。

图 16.17 所示为模具不同初始硬度下的表面磨损分布情况。当初始硬度为 HRC35 时,一次成形后其最大磨损量达到 30.68×10 mm,而当初始硬度提高到 HRC65(表面 处理后)时,最大磨损量只有8.9×10-mm,其抗磨损能力提高近4倍。通常情况下, 材料的强度越高则韧性越低。所以选择一个最佳的硬度范围以达到最优的强韧性搭配是 提高模具耐磨能力的关键。图 16.18 所示为模具初始硬度与磨损量 w 的关系。

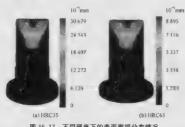


图 16.17 不同硬度下的表面磨损分布情况

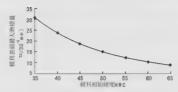


图 16.18 模具初始硬度与磨损量 W 的关系

(2) 初始温度对磨损量的影响。

通常情况下、温度对磨损的影响主要表现在两个方面:一是破坏表面膜,使之产生新生面的直接接触;二是使金属处于回火状态,降低表面硬度。上述两方面都将促使磨损产生并加制。图 16.19 所示为不同初始温度下模具表面的磨损情况;图 16.20 所示为 膜具初始温度与磨损量的关系。

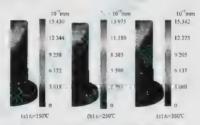


图 16.19 不同模具初始温度 t。下模具表面磨损量分布

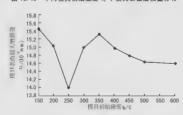


图 16.20 模具初始温度 to 与磨损量 W 的关系

由于开始阶段模具温度较低,在未完全达到模具的预热温度时,模具容易产生脆性 断裂失效,随着表面温度的升高,表面形成的氧化膜阻止金属表面的大面积接触使磨损



量減小, 当模具初始温度为 250℃时, 成形后表层最高温度达到 526.39℃, 此时, 模具 表面开始软化, 且氧化膜的作用减弱造成磨损加剔, 当模具初始温度为 350℃时, 其表 层最高温度可达 580.55℃, 基体开始软化, 强度降低, 接触点局部温度非常高且接触应 力增大, 产生胶合现象, 有塑性变形产生, 磨损量反而减小, 从上迷分析和图 7 可以符 出模目的最佳预热温度应在 250℃左右。

(3) 润滑条件对磨损量的影响。

良好的润滑不仅能提高挤压件的表面光洁度、减小挤压阻力、而且有利于保持模具表面质量、提高模具使用寿命。在加工过程中、由于某种原图模具表面得不到良好的润滑时、其表面质量将受到严重的影响。图 16.21 所示为不同摩擦条件下模具表面磨损分布情况、当摩擦因子为 0.15 时、模具表面散大磨损量为 14.78×10⁻⁻⁻ mm, 当摩擦因子为 0.5 时, 量大磨捆量为 15.80×10⁻⁻⁻ mm.





图 16.21 不同摩擦因子 m 下表面磨损分布

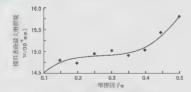


图 16.22 摩擦因子 m 与磨损量 w 的关系

可以看出,当m<0135 时,曲线变化较为平坦,当m>0135 时,曲线斜率突增,即生产中若模具表面润滑不良,其抗磨损能力将大大降低,模具磨损量迅速增加。

3) 实验研究

模拟分析表明,在模具初始温度为 200%、坯料初始温度为 950%、摩擦因子 m 为 0.3、成形速度 v 为 $250 \mathrm{mm/s}$ 时,一次成形后的最大磨损量为 $15.255 \times 10^{-6} \mathrm{mm}$,若模

具允许的最大磨损量为 1mm, 则模具抗磨损寿命为 6555 件。图 16.23 是凸模最大磨损量为 0.43mm, 生产约 2500 件后的表面磨损情况。模拟结果表明: 在实际生产中、模具的使用寿命(2500 件)与模拟结果(2818 件)有较大差距, 与前面的结论(用磨损量预测模具的使用寿命时,应者虚温度对材料特性 K 与模具硬度的影响)一致。



图 16.23 凸模磨损分布

资料来源: 周杰. 热挤压模磨损规律及磨损对模具寿命的影响。 中国机械工程,2007(17).



一、思考题

- (1) 影响磨具磨损的因素都包含什么?
- (2) 如何从工艺上减少模具的磨损?
- (3) 常见的磨损模型包括哪些? 物理含义是什么?

第17章 热处理



- ★ 了解零件热处理分析的基本设置过程;
- ★ 掌握热处理相变转换的具体设置;
- ★ 掌握热处理介质方案的设置;
- ★ 掌握热处理冷却方案的设置。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|---------|----------------------|------------------------|
| 共处理分析过程 | 了解零件热处理分析的基本设 置过程 | 相变设置,挟处理介质及方案 |
| 相变转换 | 掌握热处理相变转换的具体 设置 | 珠光体、奥氏体、马氏体之间 的转换条件 |
| 热处理介质 | 掌握热处理介质方案的设置 | 預热参数,渗碳参数,淬火 参数 |
| 冷却方案 | 掌握热处理冷却方案的设置 | 热处理方案工序时间分配 |

导入案例

全属材料的热处理工艺是在国态条件下将金属或合金加热到一定的温度。保持一定 的时间、然后用不同的冷却方法冷却下来。通过对加热温度、保温时间、冷却速度3个 主要因素的有机配合,使其发生金属相的转变,形成各种各样的组织结构,而获得所需 要的使用排售的一种抽加工工艺

为保证机械产品的质量和使用寿命。通常都要将重要的机械零件进行热处理。例如 机床削造业中有 60%~70%的零件要进行热处理。汽车和拖拉机制造业中有 70%~80%的零件要进行热处理。工模具制造业中制 100%要进行热处理。而且、只要选择的金属材料合适、热处理工艺得当、就能使机械零件的使用寿命成倍、甚至十几倍地提高,收到事半功倍的效果。因此、热处理是机械零件和模具制造过程中的关键工序。是机械工业的一项重要基础技术、对于提高和控制材料的性能。充分发挥材料的性能潜力、节约材料。减少能耗并增加产品的可靠性,延长产品的使用寿命。提高生产单位经济效益等都具有十分重要的意义。国际工业界公认热处理技术的先进程度是保证机械制造技术先进与否和保证产品质量的最关键因素。

DEFORM 是一套基于有限单元法的工艺仿真软件系统。用于分析金属成形及其相 关工业的各种成形工艺和热处理工艺。其中的热处理模块可以模拟正火、遮火、淬火、 四火、渗碳等工艺过程、能够预测硬度、晶粒组织成分、扭曲和含碳量、并且有专门的 材料模型用于蠕变、相变、硬度和扩散分析、同时可以分析材料晶相,以及每种晶相的 强性、塑性、热和硬度属性等。

本章主要是通过使用 Heat Treatment Wizard 的案例, 让读者了解 DEFORM 进行热 处理的基本过程。使读者能够模拟包含淬火、渗碳、回火的热处理过程。

17.1 问题分析

此案例是一个齿轮的热处理工序,零件如图 17.1 所示,考虑到零件的周期对称特点, 这里取半个齿进行分析,如图 17.2 所示。



图 17.1 齿轮零件



图 17.2 半齿模型

- 5 个阶段热处理方案如下:
- (1) 在 550℃ 预热半小时(1800s);
- (2) 在 850℃渗碳 2h(7200s);
- (3) 在 100℃油淬火 20min(1200s);
- (4) 在 280℃回火 1h(3600s);
- (5)在空气中冷却 1h(3600s)。

17.2 建立模型

17.2.1 创建一个新的问题

- (1) 选择开始 →程序 →DEFORM 3D V6.1 →DEFORM 3D 命令, 进入 DEFORM 3D 的主窗口。
- (2)选择<u>Heat Treatment</u>选项,建立一个新的问题,并命名为 GearHT,如图 17.3 所示,单击 <u>Marty</u> 按钮。



图 17.3 问题加载

17.2.2 基本设置

在初始资料窗口,单位设置为国际单位制(SI)单位。选中 Deformation、Diffusion 及 Phase Transformation 复选框。如图 17.4 所示,单击 mat 按钮。

17.2.3 输入几何体

在几何输入界面,选择从文件输入几何体(import from a geometry, KEY, or DB

file). 如图 17.5 所示,然后单击 <u>mar</u> 按钮。找到 DEFORM3D\V6 1\Labs 的 Gear Tooth. STL 文件,然后单击 <u>那</u> 按钮导入。导入的零件如图 17.6 所示。



图 17.4 初始资料



图 17.5 几何导入



图 17.6 几何体

17.2.4 生成网格

在网络生成界面,网络数量输入 8000,结构表面层数设为 1,厚度模式(Thickness mode)选择比率模式(Ratio to overall dimension),层厚度值为 0.005,如图 17.7 所示。设置完成后单击 1000 按钮生成网格。划分完成网格的坏料如图 17.8 所示。

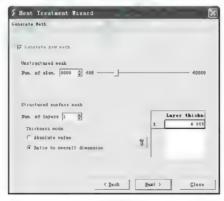


图 17.7 网格生成



图 17.8 坯料网格

17.2.5 材料的定义

在材料定义界面,选择从 DB 或者 KEY 文件输入(Import from DB and KEY files),如 图 17.9 所示,然后单击 Imax 按钮。选择安装日录下 DEFORM3D\V6_1\Labs 下 Demo_Temper_Steel. KEY 文件。 界面如图 17.10 所示,单击 Imax 按钮。 选 大环科设定界面。



图 17.9 材料定义

◆提示:可以单去 (Nea 按钮、回到上面单去 Newsel . 在弹出的对话框中,可以对材料和转变性质进行编辑。需要注意的是此 demo 材料是包含多种相的复杂材料。包括奥氏体 [Austerute (A)], 珠光体 + 贝氏体 [Pearlite + Bainite (PB)], 马氏体 [Martensite (B)], 铁素体 [Ferrite(F)], 低碳马氏体 [Low carbon Martensite (LM)], 四火贝氏体 [Temper Banite



图 17.10 输入材料

(TB)],回火犊素体+渗碳体 [Temper Ferrite+Cementte(TFC)],相间的转化有 A->F、A->PB、A->TB、A->M、PB->A、M->LM、M->A、LM->TFC、TB->A和TFC->A。在这些转变中,A->F、A->PB、A->TB、M->LM、and LM->TFC 由 TTT 曲线控制(过冷臭氏体等温转变曲线)。A->M 使用马氏体转变模型,PB->A、M->A、TB->A、and TFC->A使用简化扩散模型。A-≫F需要遵守碳含量平衡。

17.2.6 坯料设定

在坯料设定界面、温度(Temperature)设置为一致的(Uniform)20℃。对原子(Atom)、选择·致的(Uniform)并输入0.2。相的体积分数(Phase volume fraction)、选择·致的(Uniform)并将珠光体,贝氏体(Pearlite | Bainite)设为1、其余设为0、如图17.11 所示、单击 [act) 按钮。

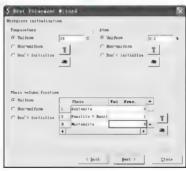


图 17.11 坯料性能

17.2.7 介质定义

在介质界面里, 主要用来定义介质和相关传热区域。

(1) 单击 <u>heads</u> 按钮将第一种介质名字改为 Heating Furnace,如图 17.12 所示,单 击 <u>a</u> 按钮。将传热系数(heat transfer coefficient, HTC)设置为默认(Default)常数 (Constant)0.1,如图 17.13 所示。



图 17 12 修改名称



图 17.13 加热工序

- (2) 单击 查按钮增加新的介质, 名字为 Carb. Furnace, 将传热系数(Heat Transfer Coefficient, HTC)设置为默认(Default)常数(Constant)0,05。在 Diffusion Surface Reaction Rate 輸入0,0001,如图 17,14 所示。
- (3) 单击 ◆ 核組增加新的介质、名字为 (ii. 取消选中 Radiation 复选框。将传热系数 (Heat Transfer Coefficient,HTC)设置为默认 (Default) 常数 (Constant) 5.5。 在 Zones 右边单击 ◆ 按钼增加区域 Zone = 1. 如图 17.15 所示。试图窗口出现选择 F 具. 如图 17.16 所示。选择齿形底面,如图 17.17 所示。单击 ◎ 图标、逐步选择底面单元、选完后零件如图 17.18 所示。

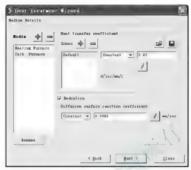


图 17.14 渗碳工序

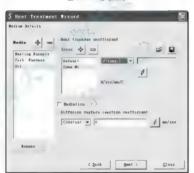


图 17.15 淬火工序



图 17.16 选择工具



图 17.17 齿形底面



图 17.18 逐步选择后的零件

| Temperat | ure | Convection Coefficient | 4 |
|----------|------|------------------------|---|
| 1 | 20 | 2.1 | |
| 2 | 250 | 2. 6 | |
| 3 | 500 | 6. 8 | |
| 4 | 750 | 4 | |
| 5 | 1000 | 2. 5 | |
| c | | | |

图 17.19 热传异系数

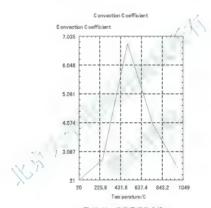


图 17.20 热传导系数曲线

17.2.8 方案定义

- 在方案定义界面,输入5个阶段工序计划:
- (1) 在 550℃ 预热半小时(1800s);
- (2) 在 850℃ 渗碳 2h(7200s), 将原子容量(Atom)设置为 0.8;
- (3) 在 100℃油淬火 20min(1200s);
- (4) 在 280°C 回火 1h(3600s);
- (5) 在空气中冷却 1h(3600s)。
- 输入后方案如图 17.22 所示,单击 West > 按钮。



图 17.21 空冷工序

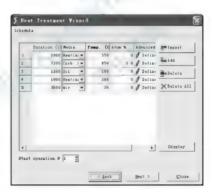


图 17.22 方案定义

17.2.9 设置模拟控制

- (1) 在模拟控制界面,在步骤定义(Step Definition)里,将温度改变步骤(Temp. change per step)政为 2,其他保持默认。
 - (2) 然后定义两个对称面(注意此几何体只是齿轮的半个齿)。单击*按钮,增加对称

面 Sym. Plane #1, 并选择图 17.23 所示的对称面 1, 单击 查按钮, 增加对称面 Sym. Plane #2, 并选择图 17.23 所示的对称面 2。设置完成的模拟控制界面如图 17.24 所示。



图 17.23 对称面



图 17.24 模拟控制





图 17.25 one by one 选择



图 17.26 限制节点



图 17.27 询问对话框

(4) 单击■按钮退出热处理模块,进入到在主窗口。

17.3 模拟和后处理

在主窗口中, 洗择 Simulator 中的Run 洗项开始模拟。

◇ 提示: 热处理运算比较复杂。需要的时间较长。

运算结束后,选择DEFORM-3D Post选项,进入后处理模块。温度如图 17.28 所示。

- (1) 检查油淬火以后的坏料状况,包括碳含量,马压体(M)、铁素体(F)和珠光体+ 碳素体(PB)的体积分数,残余应力。在此点,接近齿面的马氏体含量是 0.77,最大等效 应力达到 470ksi(由于裂纹的存在,实际工作中不存在这么高的应力 1ksi 6.894N/mm* 6,894MPa).
- (2) 检查回火后坏料的状况。注意货面马氏体减少到 0.2。 大部分已经转化为回火铁 素体 + 渗碳体。最大等效应力也减小到 180ksi。



图 17.28 模拟结果



1) 数值模拟技术

多年以来,由于热处理工艺的复杂性和对此认识的局限,使得对于热处理的计算机 模拟这一领域的研究一直都是各国学者和专家们所致力的热点和重点。

2) 工艺实例

为了更为形象地说明 DEFORM 软件在金属热处理工艺设计中的应用,本文以齿轮 锻件的热处理工艺设计为例进行阐述,其漆碳工艺方案如图 17.29 所示。



图 17.29 热处理工艺示意图

3) 模拟结果

低碳铜维齿轮渗碳后油冷而后再进行调质处理。图 17.30 的云图清晰地表明了经过 调质处理后的维齿轮的马氏体含量由原来的 80%下降到现在的 25%左右,其综合机械 性能和碳勞强度都得到相应提升,这和已有的实际经验是完全一致构。

图 17.30 是对维齿轮在调质前径向应力对比。通过计算机模拟。我们可以清楚地知道通过调质处理。齿轮的耐磨性得到了提升,径向应力也从原来的 160ksi。降低到处理后的

130ksi。DEF()RM 不仅能对应力应变以及金属相进行分析,而且还能对产品的机械性能进行预测和模拟。图 17.32 就显示了经过调质处理后,产品的硬度变化情况。



图 17.30 调制前后马氏体含量分布云图



图 17.31 调质前径向应力分布云图



图 17.32 调质硬度的分布云图

▼ 资料来源:澳仲佳、DEFORM 在金属热处理 I 艺设计中的应用 锻造与冲压, 2005(11).



一、思考题

- (1) 金属材料热处理包含哪些 L 艺? 不同的热处理 L 艺获得什么样的组织。性能是什么?
 - (2) 如何获得材料用于模拟分析的数据文件?
 - (3) 组织之间相互转换的原理是什么?

第18章

晶粒度分析



- ★ 了解晶粒度分析的基本设置过程;
- ★ 掌握离散点阵的具体设置;
- ★ 掌握晶粒形核条件的设置;
- ★ 掌握晶粒生长条件设置。



| 知识要点 | 能力要求 | 相关知识 |
|--------|--------------------|---------------------|
| 晶粒度分析 | 了解晶粒度分析的基本设置 过程 | 离散模型,晶核形核及生长条件,演变过程 |
| 离散点阵 | 掌握离散点阵的具体设置 | 区域设置、尺寸设置 |
| 晶粒形核条件 | 掌握晶粒形核条件的设置 | 形核的可能性、形核尺寸 |
| 品粒生长条件 | 掌握热处理冷却方案的设置 | 晶粒长大常数等 |

导入案例

先进塑性加工技术的飞速发展要求在确保产品形状、尺寸精度的同时,更加注重产品综合机械性能的提高。而产品的机械性能在很大程度上由材料微观组织的变化决定、如图 18.0 所示的金属晶粒。因此预测与控制产品假观组织结构,对提高产品性能具有要的现实意义。近年来,微观组织的模拟、预测及控制已成为国内外学者的一个研究法点。引起越来被多学者的关注。



. 图 18) 金馬扁粒

本章主要是让读者了解塑性成形的微观结构分析,可以预测热变形状态下材料的硬 化、回复和再结晶,及晶粒形状的改变。

18.1 分析问题

具体成形 T 艺请参照第 6 章,此章节分析成形 T 艺过程中的晶粒度变化情况,如图 18.1 所示。

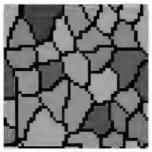


图 18.1 晶粒度问题

18.2 建立模型

18.2.1 创建一个新的问题

在主窗口,选中 PROBLEM/Spike 目录的 Spike, DB 文件,单击后处理下面的 Microstructure 按钮,打开 DEFORM MICROSTRUCTURE 窗口,如图 18.2 所示,单击 460 analost 按钮增加计划。

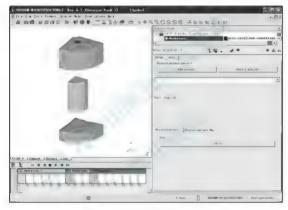


图 18.2 微结构截面

18.2.2 追踪选项设置

单击 <u>Mathan</u> 按钮,在坯料上选择两点,如图 18.3 所示,追踪点坐标如图 18.4 所示, 单击 <u>Math</u> 按钮,在追踪选项界面选中 No 单选按钮,如图 18.5 所示,不将结果保存到 文件中,单击 <u>Math</u> 按钮。

18.2.3 离散点阵设置

在离散点阵界面,类型选中 Cellular Automata 单选按钮,几何选中 Square 单选按钮,行和列分别设置为 50,绝对尺寸设为 1,如图 18.6 所示,单击 Imp. 按钮。



图 18.3 追踪点

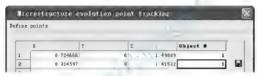


图 18.4 追踪点坐标



图 18.5 追踪选项



图 18.6 离散点阵

18.2.4 边界条件设置

在边界条件界面,保持默认设置,如图 18.7 所示,单击 1821, 按钮。

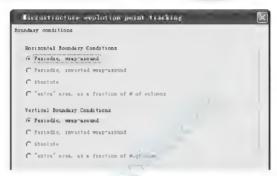


图 18.7 边界条件

18.2.5 晶粒边界条件设置

在晶粒边界选项界面,设定 Grain boundaries coupled to material flow 为 No. Neighborhood 设为 Moore's Neighborhood, 半径设为 1. 如图 18.8 所示,单击 100. 按钮。

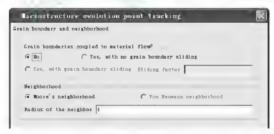


图 18.8 晶粒边界

18.2.6 位错密度常数设置

在位错密度参数界面,参数设置为; é。 1, Q 265000, h0 0.00075, r0 2000, K=6030, m=0.2。如图 18.9 所示,单击 1881 按钮完成位错密度常数设置。



图 18.9 位错密度

18.2.7 再结晶设置

在再结晶界面选中 Discontinuous Dynamic Recrystallization (DRX) 复选框,如图 18.10 所示,单击 Imat 按钮。



图 18.10 再结晶

18.2.8 形核状况设置

- (1) 在品核形成条件界面 1 选中 Function of threshold dislocation density and probability 单选按钮,如图 18.11 所示,单击 ™は)按钮。
- (2) 在晶核形成条件界面 2 里. Critical dislocation density for DRX 设为 0.02, Probability of nucleation 设为 0.01,如图 18.12 所示,单击 1841,按钮。

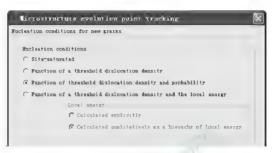


图 18.11 形核状况

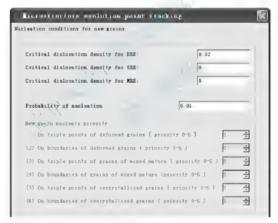


图 18.12 形核的可能性

18.2.9 晶粒生长设置

在晶粒长大和材料常数界面,常数设为1,如图18.13 所示,单击 1821,按钮。

18.2.10 流动应力和材料常数设置

(1) 在流动应力和材料常数界面,单击 Define 按钮,输入温度 100,流动应力

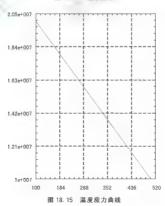
| n growth phenomena selection and material constan | its |
|---|--------|
| Grein growth | |
| ♠ Function of grain boundary migration velocity | |
| Grain boundary migration velocity | |
| Constant | 1 |
| C Function of misorientation angle | Define |
| C Function of temperature | Define |

图 18.13 晶粒长大

20000000; 温度 500, 流动应力 10000000。如图 18.14 所求、单击 www 按钮、窗口左侧出现材料的流动应力曲线。如图 18.15 所求、单击 www 法钮钮、输入 Elastic Shear Modulus(G) in MPa 设为 260e9。Burgers vector(b) in microns 设为 0.352e-9。如图 18.16 所示、单击 www 按钮。

| | Temperature | Natural | flow s | tress | | the | m | <u>*</u> |
|---|-------------|---------|--------|-------|-----|------|----|----------|
| 1 | | 00 | | | 200 | 0000 | 00 | |
| 2 | | 500 | | | 100 | 0000 | 00 | |

图 18.14 流动应力



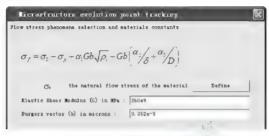


图 18.16 材料參数

(2) 在弹出的界面设置 αl 为 l, α2 为 0. l, 其他默认, 如图 18. l7 所示, 单击 Imax j 按钮。

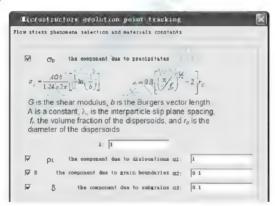


图 18.17 材料常数

18.2.11 初始输入设置

在微结构输入界面,各参数的设置如图 18.18 所示,设置完成后单击 Itat> 按钮。

18.2.12 晶粒演变设置

在微结构演变用户常规界面中保持默认设置,如图 18.19 所示。



图 18.18 初始輸入



图 18.19 演变设置

18.3 执行演变过程和后处理

单击 图 按钮, 软件开始执行微结构演变过程, 在演变过程中受到应变率、应变、

温度等诸多因素的影响。

(1) 单击 Fost 按钮, 视图区域如图 18,20 所示,显示了两个点的初始品粒度状况。



(2) 在 Microstructure 选项卡下、取消勾选点 2、如图 18.21 所示,视图区域将只显示点 1 的品粒度状况,单击▶可以看到品粒度的演变过程、图 18.22 所示为点 1 预成型结束的晶粒度情况。

(3) 圖圖 国内个图标分别为晶粒、密度、边界、晶粒和边界选项。



图 18.21 选点情况

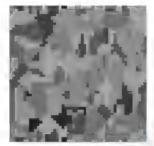


图 18.22 晶粒度变化



- 应用条例18-1

本案例要模拟的锻造过程是一个复杂的自由锻过程,整个自由锻过程采用 DEF()RM-

1) 自由锻工艺方案的设计

这里设计的锻造工艺方案包括徽租、拔长、滚圆以及平整等过程、目的就是为了使 坯料变形充分、消除铸造组织缺陷以及改善坯料心部死区变形情况、本方案包括二次拔 长和三次银租过程, 模拟过程中 · 共分四次加热, 模拟过程中坯料初始温度为 150% 、 模具温度为 300% , 模具与坯料间摩擦图数取 0.3 、 热传导系数为 20% ($m \cdot \%$), 环境温度为 20% 、 輸热系数为 0.02N mm s% , 模具的下压速度为 15m s。 本次模拟中采用的锻造分案如图 18.23 所示。 工艺流程、设备及锻造尺寸设计见表 18-1。

3D 模拟, 原始坯料尺寸为中 6130mm×900nm, 最终锻件尺寸为2070mm×2000mm×225mm。



表 18-1 工艺流程、设备及锻造尺寸设计

| 工步 | 鍛造工具 | 设备 | 锻造方案 | | | |
|----------|-------------------------------|--------|---|--|--|--|
| 0 | 上平砧, 下凹弧砧 | 0 - 10 | 缴粗至 h=750** | | | |
| 0 | 平砧 | 6 = 机 | 缴粗至 h 400+5 | | | |
| 3 | 平砧 | 3#机 | 敬相至 h=240 ⁴ ⁵ | | | |
| ① | 平砧(倒棱拔长)、拔长弧形砧 直接放在下砧上(滚圆) | | 倒梭拔长至 φ380*10、滚圆 至 φ450*10 | | | |
| (5) | 同工步① | 6 = 机 | 缴租至 h=750°5 | | | |
| ۵ | 同「歩③ | | 镦粗至 h = 400 | | | |
| £. | 同工步。 | 3 = 机 | 徴粗至 h = 240 | | | |
| 8 | 同工步① | WILLY | 倒 稜 拔 长 至 φ380 ⁺¹⁰ 、 滚 圆 至 φ450 ⁺² | | | |
| 9 | 同工步① | 6=机 | 缴粗至 h=750°5 | | | |
| 0 | 同正步② 、 | . ~ | 缴粗至 h=400 ° 5 | | | |
| 0 | 同工步③ | 3##1 | 缴租至 h =260 ⁺⁵ | | | |

表 18-2 所示为 7050 铝合金材料基本参数.表 18-3 所示为在 DEFORM-3D 平台上模拟时的基本参数。

表 18-2 材料基本参

18-3 維 出 金 動

| 衣 10 - 4 - 例 科 由 | 中罗班 | 10 - 2 (M 1/4 39 30) | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------|------|
| 材料參数 | 值 | 模拟参数 | 值 |
| 杨氏模量/MPa | 68900 | 初始温度/℃ | 450 |
| 泊松比 | 0.3 | 模具温度/℃ | 300 |
| 热扩散系数/(m² • s ⁻¹) | 2. 2×10 ⁵ | 环境温度/℃ | 20 |
| 热传导率/(W/m • ℃) | 180. 181 | 终锻温度/℃ | 400 |
| 热辐射系统 | 0.7 | | |
| Burgers 矢量/m | 2.58×10 ⁻¹⁰ | 摩擦系统 | 0. 3 |
| 剪切模量/(MN·m ⁻²) | 2. 59×10^3 | 热传导系数/(W/m ² ・℃) | 0.02 |
| 热激活能/(kJ·mol-1) | 231. 9 | 模具下压速度/(mm·s ⁻¹) | 15 |
| 边界移动激活能/(kJ·mol-1) | 117. 2 | 原始晶粒尺寸/µm | 90 |

2) 自由镀工艺模拟结果分析

这里将热力模拟实验获得的材料系数与以模型在 DEF()RM 3D平台上对 7050 铝合金 大锻件自由锻过程进行了仿真模拟。CA 法采用均匀的网格划分,每一时 刻基元 的状态用 有限的值加以描述,初始晶粒采用等轴长大方式形成。为了用有限的空间代替无限的空间、采用了周期性边界条件,所取的平面区域划分为200~200个网格,代表 Imm×1mm的实际样品,所选的材料为7050 铝合金。模拟的自由 假过程包括三次镦粗[图 18.24(b)]、两次拔长[图 18.24(c)]以及平整打方[图 18.24(d)]、图 18.24(a)所示为坯料。这里微观组织模拟的区域为中心区域(PI)、以下图示部为中心区域的微观组织结构。P2 所示为坯料城部,用来与中心区域的再结晶过程作比较。



图 18.24 自由級工艺

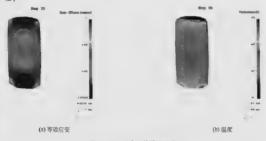
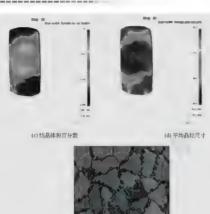


图 18.25 工步 1 的模拟结果



(c) 微观继续! 图 18.25 工步 1 的模拟结果(续)

工步 2:利用平站将坯料铁租至 h=400mm。 其模拟结果如图 18.26 所示。从模拟结果可贵出,坯料等效应变维维增大,中心区域可达 0.7;中心区域的温度均匀。两个端部 裁低;结晶百分数仍然是中心区域(0.7 左右)较两端大(底部几乎为 0);中心区域的平均 8km 左右,这是由于连续动态再结晶的发生导致晶粒进一步如化。 從观组织 图显示随着变形的增大,新产生的动态再晶粒不断增大。原始晶粒逐渐被新晶粒替代。

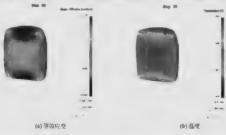
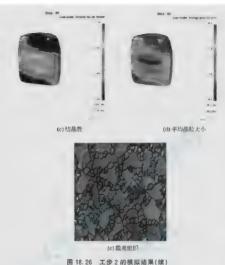


图 18.26 工步 2 的模拟结果

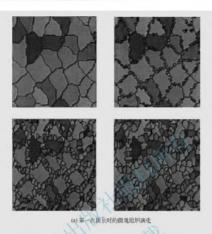


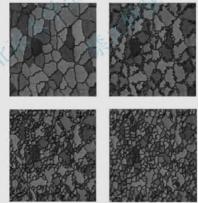
其他工步数据略。

3) 拔长工艺对微观组织模拟的影响

图 18.27 所示为应变速率为 0.1s · 。温度为 450℃。 P1 处在锻造过程中经过两次提 长的微观组织演化, 经过拔长后, 坯料的等效应变都有大幅度增加, 从图中可以看出, 在进行第一次拔长时的原始晶粒为粗大晶粒,随着应变的增加位错密度达到动态再结晶 的临界值,开始发生动态再结晶,得到细小的晶粒。第一次拔长后,再将坯料镦粗,然 后进行第二次拔长、在这个过程中、动态再结晶所形成的新晶粒得到充分长大、但仍远 小于原始晶粒。当位错密度再次达到动态再结晶的临界值,发生第二次动态再结晶,得 到更加细小的晶粒。

在本次模拟中,由于坯料与模具接触导致坯料两端与模具接触温度较低,并且由于 中心区域等效应变较大,故在变形过程中再结晶百分数中心区域较大。在第一次镦粗过 程中,中心区域的再结晶百分数达到了85%。而两端几乎为0,平均晶粒尺寸中心区域 为 10um 左右,而两端为 90um (原始晶粒)。当进行完第一次拔长后,由于等效应变增 大明显,中心区域的再结晶百分数达到100%,而两端也发生明显动态再结晶,平均晶 耘尺寸中心区域为 13μm, 两端为 25μm。再次将坯料镦粗,这时坯料大部分区域都发生 了再结晶, 平均晶粒尺寸最大为 20um, 最小为 11um。当进行完第二次拔长后, 两端与





(b) 第二次接长时的微观组织演化 图 18.27 接长工艺对微观组织演化的影响

中心区域都发生了较完全的动态再结晶,这时两端的平均晶粒尺寸为 14µm。最后将坯料平整到终锻件,此时锻件绝大部分区域的再结晶分数都接近 100%,平均晶粒尺寸大小为 10µm 左右。图 18.28 表明随着模拟锻造工步的增加,再结晶百分数不断增加,同时平均晶粒尺寸大小逐步减小,锻件中心区域(P1)与锻件的端部(P2)的变形组织趋于均匀。

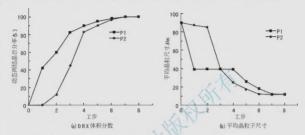


图 18.28 锻件不同区域的动态再结晶百分数与平均晶粒尺寸随锻造工步的变化

医 资料来源:刘超. 基于 DEFORM - 3D 的 7050 铝合金大锻件成形工艺与晶粒尺寸演化研究. 中南大学硕士学位论文, 2009.



一、思考顯

- (1) 金属材料的晶粒度对材料的性能有什么影响?
- (2) 影响金属成形工艺最终产品晶粒度的因素包括哪些?
- (3) 怎样获得合理的晶粒度状况?

附录

常见材料各国牌号对照表

| 中国 | 苏联 | 美国 | 英国 | 日本 | 法国 | 德国 |
|----------------|---------------|--------|----------|---------|---------------|---------------|
| GB | ГОСТ | ASTM | BS | JIS | NF | DIN |
| 25CrMo | 25XM | 4119 | CDS12 | SCM420 | 18CD4 | 25CrMo4 |
| 30CrNi3 | 30XH3A | 3435 | 653M31 | SNC631 | 30NC12 | 30CrNiMo8 |
| 42CrMo | _ | 4041 | 708A42 | _ | 1 42CD4 | 42CrMo4 |
| ZL105 | АЛ5 | A03550 | LM16 | AC4D / | KA- | G-A1Si5Cu |
| 12Cr2Ni4 | 12X2H4A | 3310 | 659M15 | -4 | 12NV15 | 14NiCr18 |
| ML15Cr | 15X | 5115 | 527A17 | SC1415 | _ | 17Cr3 |
| 08F | 08 К П | 1006 | 040A04 / | S09CK | _ | C10 |
| 8 | 8 | 1008 | 050A04 | S09CK | _ | _ |
| 10 | 10 | 1010 | 050A10 | V S10C | XC10 | CK10 |
| 13 | 13 | 1013 | 050A13 | S13C | XC13 | CK13 |
| 15 | 15 | 1015 | 050A15 | S15C | XC15 | CK15 |
| 16 | 16 | 1016 | 050A16 | S16C | XC16 | CK16 |
| 20 | 20 | 1.020 | 050A20 | S20C | XC20 | CK20 |
| 25 | 25 | 1025 | 050A25 | S25C | XC25 | CK25 |
| 30 | 30 | 1030 | 050A30 | S30C | XC30 | CK30 |
| 35 | 35 | 1035 | 050A35 | ^ S35C | XC35 | CK35 |
| 43 | 7/43 / | 1043 | 050A43 | S43C | XC43 | CK43 |
| 45 | 1 15 | 1045 | C050A45 | S45C | XC45 | CK45 |
| 55 | 55 | 1055 | 050A55 | S55C | XC55 | CK55 |
| 60 | 60 | 1060 | 050A60 | S60C | XC60 | CK60 |
| 70 | 70 | 1070 | 050A70 | S70C | XC70 | CK70 |
| 78 | 78 | 1078 | 050A78 | S78C | XC78 | CK78 |
| 95 | 95 | 1095 | 050A95 | S95C | XC95 | CK95 |
| 15Mn | 15 Г | 1115 | 080A17 | SB46 | XC12 | 14Mn4 |
| Y35 | A35 | 1137 | 212M36 | _ | 35MF6 | 35S20 |
| 20Mn2 | _ | 1524 | 0355GH | SMn420 | P0355GH | P355GH |
| 0Cr18Ni12Mo2Ti | 08X17H13M2T | 316 | _ | SUS316 | Z8CNDT17 • 12 | _ |
| 42CrMo | 38xM | 4140 | 42CrMo4 | SCM440 | 42CrMo4 | 42CrMo4 |
| 60CrMnMoA | _ | 4161 | 805A60 | SUP13 | _ | 60CrMo3 • 3 |
| 40CrNiMoA | 40XHMA | 4340 | 817M40 | SNCM439 | 40NCD3 | 36NiCrMo4 |
| 15Cr | 15X | 5115 | 527A17 | SCr415 | — 17Cr3 | |
| 20Cr | 20X | 5120 | 590M17 | SCr420 | 20C4 20Cr4 | |
| 35Cr | 35X | 5135 | 530A36 | SCr435 | 38C4 | 34Cr4 |
| 40Cr | 40X | 5140 | 530 A40 | SCr440 | 42C4 | 41Cr4 |
| 20Cr | 20X | 5120 | 527A19 | SCr420 | 18C3 | 20Cr4 |
| G20CrNiMo | _ | 8620 | 805 A | _ | 20NCD2 | 21NiCrMo2 • 2 |
| 4Cr5MoSiV1 | 4Х5МФ1С | H13 | | SKD61 | Z40CDV5 | X40CrMoV5 • 1 |

参考文献

- 「1] DEFORM 3D V61 手册.
- [2] 李传民,王向丽, 闫华军, DEFORM5.03 金属成形有限元分析实例指导教程 [M], 北京, 机 械工业出版社,2007.
- [3] 李尚健, 金属塑性成形过程模拟 [M], 北京, 机械工业出版社, 2005.
- 「4] 董湘怀、材料成形计算机模拟「MI, 北京。机械工业出版社, 2005.
- [5] 施江湖, 材料成形技术基础 [M], 北京, 机械工业出版社, 2004.
- [6] 胡建军,许洪斌,金艳. 基于有限元计算的金属断裂准则的应用与分析 [J]. 锻压技术,2007(3).
- [7] 胡建军,许洪斌,金艳,塑性成形数值仿真精度的提高途径[J],锻压技术,2009(2),
- [8] 方刚, 曾攀, 金属板料冲裁过程的有限元模拟 [J], 金属学报, 2001(6).
- [9] 董湘怀,李赞,魏伯康. 材料加工理论与数值模拟 [M]. 北京,高等教育出版社,2005.
- [10] 王梦寒. F738 壳体成形工艺数值模拟仿真及优化 [D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [11] 田甜, 张诗昌. DEFORM 在锻造中的应用 [J]. 冶金设备, 2009, 5(10); 67-70.
- [12] 杨春,盛志刚,王华昌,提高自由徽租成形质量的工艺方法与有限元模拟 [J], 铸造技术, 2008(1): 111-113,
- [13] 周勇,傅蔡,基于 3D 的微型螺钉冷成形过程有限元分析 [J]. 机械械设计与制造,2008,3 (3),109-111,
- [14] 罹然、胡建华、黄尚宇、基于有限元分析的精冲凸模寿命估算[J]. 塑性工程学报,2010,17 (3),119-123.
- [15] 刘洋, 周旭东, 孟惠霞, 带锅热连轧过程轧制力三维有限元模拟 [J]. 锻压技术, 2007, 32 (5): 142-144.
- [16] 刘桂华,任广升,徐春国. 辊锻三维变形过程的数值模拟研究[J]. 塑性工程学报,2004,11 (3):89-92.
- [17] 刘文科、张康生、王福恒、DEFORM-3D 在機構轧成形模拟中的应用 [J]. 冶金设备, 2010, 6 (181), 52-54.
- [18] 孙继旺,付建华,李永堂,基于 DEFORM-3D 的后桥半轴摆辗新工艺分析 [J], 锻压技术, 2009,34 (3).
- [19] 刘陶, 龙思远, 基于 DEFORM 3D 的铝合金筒形件旋压成形过程数值模拟 [J]. 锻压技术; 特种铸造及有色合金, 2010, 30 (6), 160-163.
- [20] 罗静, 邓明, 胡建军. 精冲过程的计算机模拟及工艺参数优化 [J]. 锻压装备与制造技术, 2005, 4; 72-74.
- [21] 周杰,赵军,安治国. 热挤压模磨损规律及磨损对模具寿命的影响[J]. 中国机械工程,2007, 18(17);2112-2115,
- [22] 濮仲佳、马月青、董万鹏、等。 DEFORM 在金属热处理工艺设计中的应用 [J]. 锻造与冲压、 2005(11)。56~58
- [23] 刘超. 基于 DEFORM 3D 的 7050 络合金大锻件成形工艺与晶拉尺寸演化研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [24] 张莉,李升军. DEFORM 在金属塑性成形中的应用 [M]. 北京: 机械工业出版社,2009.